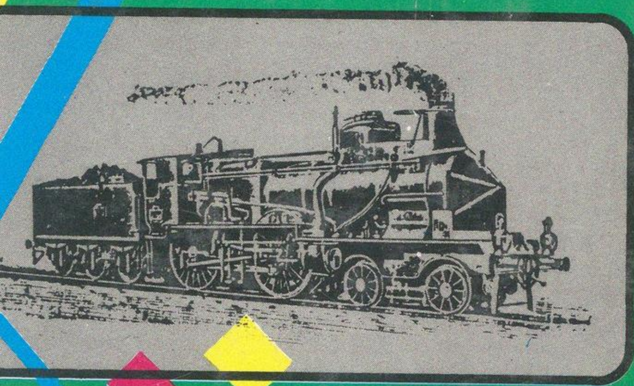
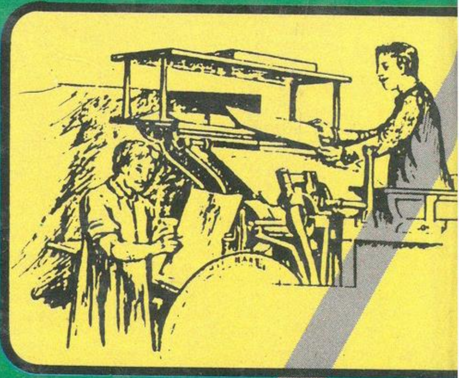
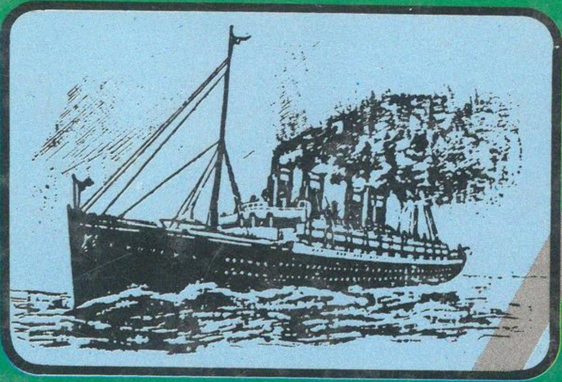
تاريخ العلوم العام

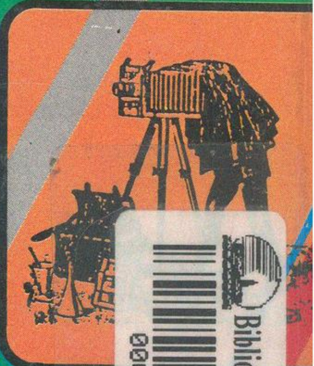
العلم المعاصر

القرن التاسع عشر









تأليف: رنيه تاتون

ترجمة: د. علي مقلد

تاريخ العلوم العام

العلم المعاصر

القرن التاسع عشر

تاريخ العلوم العام

المجلد الثالث

العلم المعاصر
القرن التاسع عشر

بإشراف

رنيه تاتون

ترجمة

د. علي مقلد

المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع

الطبعـــة الأولى
1410هـ - 1990م

المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع

بيروت - الحمراء - شارع أميل اده - بناية سلام
هاتف ٨٠٢٤٢٨ - ٨٠٢٤٠٧ - ٨٠٢٢٩٦
بيروت - المصيطبة - بناية طاهر هاتف: ٣٠١٠٣٠ - ٣١١٣١٠
ص. ب: ٦٣١١ / ١١٣ تلكس: LE ٢٠٦٦٥ - ٢٠٦٨٠ - لبنان

العالم المعاصر
القرن التاسع عشر

هذا الكتاب ترجمة

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES

publiée sous la direction de

RENÉ TATON

Directeur de recherche au Centre national de la Recherche scientifique

TOME III

LA SCIENCE CONTEMPORAINE

VOLUME I

LE XIX^e^ SIÈCLE

par

F. ABELÈS, G. ALLARD, P. ASTRUC, L. AUGER, E. BAUER, B. BEN YAHIA, G. CANGUILHEM, M. CAULLERY, J. CHESNEAUX, I. B. COHEN, P. COSTABEL, G. DARMOIS, M. DAUMAS, M. DURAND, R. FURON, P. HUARD, J. ITARD, J. JACQUES, J.-F. LEROY, J. LÉVY, CH. MORAZÉ, J. ORCEL, J. PIVETEAU, R. TATON, A. TÉTRY, M.-A. TONNELAT, A. P. YOUSCHKEVITCH, V. P. ZOUBOV

©PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

المقدمة

تضمن المجلد الأول من هذه المجموعة تطور الفكر العملي في مختلف الحضارات منذ البدايات حتى نهاية العصر الوسيطي . واتاح المجلد الذي تلاه تتبع الازدهار ، والخطوات الأولى وكذلك نهضة العلم الغربي الحديث في عصر النهضة حتى اواخر القرن الثامن عشر . ولاتمام هذه اللوحة الجدارية للملحمة العلمية ، يبقى علينا ان نصف المسار المتسارع للتقدم منذ الثورة الفرنسية حتى ايامنا .

واذا كان التقطيع الذي وقع عليه الاختيار لا يلحظ منعطفاً حاسماً في تطور الفكر، فهو يتطابق مع تغيير عميق في ظروف العمل العلمي ، ويفتح ، من جراء هذا ، السبيلَ الى العلم المعاصر . إن تجدد مناهج التعليم ، ثم التطبيق التدريجي للتنظيم العقلاني في البحث احدثا فيه تسريعاً للتقدم يتبدّى بشكل متزايد الوضوح ، مما أدى إلى إيجاد توسع مستمر لمجال العلم ، ونمو سريع لمختلف فروعه .

ومن المميزات الرئيسية لهذه النهضة ميزة تكمن في التغلب المتزايد للتقنية الرياضية على العلم النظري . وربما كانت الأهمية الكبرى ـ ولو بحسب استتباعاتها الاجتماعية ـ هي للعلاقة التي تظهر باستمرار وبوضوح اكبر بين تقدم العلم المحض وتطور التقنيات ، وهي علاقة مزدوجة الاتجاه يبرز وضوحها بالانعكاسات الاكيدة على الصعيد التقني والصناعي في مجالات التقدم الضخم الحاصل في حقول الكهرباء والترمو ـ ديناميك (التحرك الحراري) والكيمياء ، وكذلك بتأثير بعض البحوث ، ذات الأهداف النفعية ، على نمو العلوم المختلفة . ويتوقف البحث العلمي بعد ذلك عن ان يكون نشاطاً فلسفياً خالصاً ، لكي يصبح عاملاً مهماً في التقدم المادي ، ولكي يصبح ظاهرة اجتماعية تبرز أهميتها في أيامنا بشكل ساطع .

ويتوافق مع البروز التدريجي للدور المعطى للعلم في بناء إطار الحضارة المعاصرة ، تطور موازٍ لظروف البحث العلمي بالذات . وأدى توسع مجال العلم الى تخصص مسرف في نشاط الباحثين كما اقتضى تحسيناً مستمراً لوسائل العمل والتقصي . كما أن السبل القديمة : سبل الهواية ، وتشجيع

العلم ، بديا غير كافيين ، كما أن الحاجة إلى اطلاق سياسة علمية جريئة بدت مفهومة بشكل متزايد من قبل القادة الأكثر استنارة في بعض بلدان اوروبا الغربية .

وإطلاق هذه الحركة التجديدية من قبل الثورة الفرنسية في أواخر القرن الثامن عشر ، سجل تغييراً مفاجئاً في وتيرة الانتاج العلمي ودشن عصر العلم الحديث .

لقد عرف العلم بعد ذلك نهضة تزداد سرعتها ، ان ضخامة التقدم المتحقق بخلال أقل من قرنين تجاوزت بكثير ما قدمته آلاف السنين السابقة . واتساع هذا المجال الذي نقوم باستكشافه اضطرنا الى تقسيم دراستنا الى قسمين مخصصين للقرن التاسع عشر وللقرن العشرين .

وهذا التقسيم التاريخي الذي اعتمدناه متأثر ببعض التنقلات الرئيسية في مجال الفكر العلمي . من ذلك ان نظرية المجموعات والمنهج البدهي [او نظام البديهيات] قد جددا في هذا الفكر روح الرياضيات بالذات . كما ان اكتشاف اشعة اكس والنشاط الاشعاعي ، ونهضة النظرية الذرية الحديثة وولادة نظرية « الكم » (كانتا) ونظرية النسبية قد فتحت امام العلم مرحلة جديدة في تطور العلوم الفيزيائية . وبالمقابل ، وفي بعض المجالات الأخرى العلمية لم تظهر منعطفات بمثل هذا البروز ، ثم انه من أجل تلافي التقسيم الى حقب شديدة البروز لم نطبق التجزئة الا بمقدار ، تاركين لكل مؤلف حرية اختيار التفصيل الملائم للموضوع المدروس . ونظراً لهذه المقتضيات فان هذا المجلد من القسم الثالث من تاريخ العلوم العام ، المخصص لعلوم القرن التاسع عشر يبدو لنا ذا وحدة داخلية مرضية .

ان المشروع الذي نقوم به يصطدم بعقبات اكيدة مبعثها الاتساع الذي لا يحد لمجال العلم ، وذلك من جراء تعدد وتكاثر عدد المنشورات وكذلك من جراء تنامي تقنية هذه المنشورات ، ومن غير المعقول ان يستطيع مؤلفٌ واحد اجادة تمثل مجمل الانتاج العلمي في القرن التاسع عشر ، ومن ثم الافصاح عن أهم خطوطه الرئيسية ، ثم تقديم احكام معللة حول مظاهره الاكثر تنوعا. والمحاولات النادرة التي حصلت في هذا السبيل ضَحَّتْ ، عن عمد ، بمجالاتٍ واسعة من العلم ، واخفت بواسطة السرد التاريخي استحالة السيطرة على مواضيع مطروحة او حلت محل التحليل الحيادي للأحداث عموميات تاريخية أو تأويلات فلسفية مستقاة من طرح سابق على التجربة . ومحاولة الوصف الموضوعي ، كالتي نقوم بها ، لا يمكن ان تنفذ الا بواسطة مجموعة من المؤرخين ورجال العلم ، بحيث يقصر كل مؤلف تحليله على مجال الدرس العائد اليه .

لا شك ان انجاز عمل جماعي بواسطة تعاون العديد من المؤلفين المتخصصين لا يخلو هو ايضاً من مصاعب . واحدى هذه المصاعب البارزة بشكل خاصٍ منذ القرن التاسع عشر ، تنتج عن تجزئة الموضوع الواحد الى قطاعات ضيقة نسبياً ، من شأن حدودها ان تغطي التفاعلات الخصبة التي تبرز بين مختلف مجالات العلم . والواقع ان كل محاولة لوصف ولتفسير تطور العلم ، تؤدي حتماً الى التجزئة الكيفية للحقيقة الواحدة غير القابلة للنقاش ـ إنما الممتنعة ـ : انها تخفي الرؤية الشمولية للتقدم في كل تعقيداتها . ولتلافي الاسراف في الاختصار المحتوم لخطة العمل التي اعتمدناها ، ولتلافي نقص التقسيمات الناتجة من هذا الاختصار ، جهد كل مؤلف في القاء الضوء على العلاقات التي توحد وتجمع بعض مظاهر دراسته الى نمو المجالات الأخرى العلمية . وهكذا يرد ذكر التيارات المتنوعة ، تيارات

البحوث ، كما تُذْكَرُ الأحداث المختلفة في عدة فصول تعرضها تحت اضواء يكمل بعضها بعضاً بحيث تظهر صورتها الحقيقية بشكل افضل .

وهناك صعوبة اخرى تكمن في عرض الموضوع بالذات . لقد اخترنا طريقاً وسطاً بين حلين اقصيين : التأليف التبسيطي الذي لا يأخذ بالدقة التقنية ويكتفي بالأحداث الصغرى او بالتقريبات الخريئة، والتأليف المبني على الدراسة المتخصصة التي تدخل في كل لحظة في التفصيل الدقيق للأحداث بحيث يستعصي تناولها الا على القراء المطلعين تماماً على تيار النظريات المبحوثة . من أجل هذا حاول المؤلفون ان يوفقوا بين المطلبين المتناقضين ظاهراً : مطلب الدقة ومطلب الوضوح ، محاولين بآن واحد اعطاء صورة امينة ما امكن عن النظريات وعن الأحداث المذكورة ، ومن ثمّ تجنب التوغّل في التقنية . ومن المؤكد في كل حال انه من المستحيل التطلع الى تحليل المكتسبات الرئيسية لعلوم القرن التاسع عشر ، دون استخدام معجمية علمية اساسية ، ودون ذكر بعض النصوص الدقيقة ، وبعض المعادلات أيضاً .

وبعد عرض قصير لمناخ العصر تتعرض الاقسام الخمسة ، من هذا المؤلف ، للتقدم الحاصل في مختلف مجالات العلم في القرن التاسع عشر . والتصنيف الذي اعتمدناه يتطابق بأكثر ما يمكن من الأمانة مع هيكلية هذا العلم . ولهذا يبدو هذا التصنيف اكثر توسعاً واكثر دقة من التصنيفات التي اتبعناها في مختلف اجزاء المجلد السابق ، دون استلهام وجهات النظر الموغلة في العصرنة . ويمكن مناقشة هذا التفصيل حتماً ، الا ان كل صيغة اخرى تتعرض ايضاً لانتقادات مماثلة . ويكون من العبث ، برأينا ، اعطاء مسألة الخطة أهمية مفهومية ليست لها ، نظراً لانعدام وجود الحل المرضي تماماً .

يعالج الجزء السادس ظروف الحياة العلمية في اوروبا الغربية اولاً ، وهي المأوى الاكيد لعلم القرن التاسع عشر ، ثم في روسيا وبعدها في الولايات المتحدة وهي بلد تدل نهضته السريعة على النجاحات الساطعة اللاحقة ، ثم أخيراً في المناطق التي ما تزال جزئياً بمعزل عن النهضة المشهودة للعلم الغربي . وتدل هذه الفصول المتنوعة على تأثير الظروف السياسية والاجتماعية المتزايد على تطور العلم وعلى التوسع المستمر في هذا العلم المعاصر الذي تمتد سيطرته الجغرافية بصورة تدريجية على كل اجزاء الكون .

نذكر اخيراً ان دراستنا تستبعد أيضاً تاريخ العلوم الانسانية وتاريخ التقنيات . والعلاقات الأكثر قرباً ، والتي تظهر بين نمو العلوم المحضة ونمو التقنيات ، نذكرها في عدة مناسبات ، ولكننا احتفظنا بتحليل انعكاساتها على الصعيد العملي لتضمينه مجلدّات موازية أخرى . كما ان وجود دراسات مهمة ترتيبية مثل التاريخ العام للحضارات قد سمح لنا أن نحد من وصف الاطار السياسي والاقتصادي والاجتماعي والفلسفي . وكما هو الحال بالمجلدات السابقة من هذه المجموعة ، يعتبر هذا المجلد الجديد من التاريخ العام للعلوم حصيلة تعاون ناشط بين العديد من المؤلفين الذين ارتضوا الخضوع للعديد من المقتضيات التي يوجبها انجاز مثل هذا المؤلف الضخم وهو اول محاولة تركيبية لعلم القرن التاسع عشر بمثل هذه الضخامة . إلى هؤلاء المشاركين المخلصين ، وإلى كل الذين قدموا ، بشكل من الاشكال ، مساعدة ثمينة نقدم شكرنا الخالص .

عبقرية القرن التاسع عشر

عصر العجائب والمفارقات . ـ لقد شاع في الرأي العام ، ولمدة طويلة ، الرأي العام المحافظ ، ان القرن التاسع عشر كان بحسب رأي لاسير Lassere الشائع ، قرن البلادة . ذلك ان هذا القرن ليس له ذكر في تراث الحركات المتزنة فكرياً ولا في المشاعر التي نقلت الانسان الغربي مما كان عليه أيام ريشيليو Richelieu الى ما صار اليه في زمن بوانكاري Poincaré . لا شك اننا عندما نبحث عن أصول العديد من مؤسساتنا المعاصرة كما عن اختراعاتنا ، فاننا واجدوها في القرن التاسع عشر ، ولكن بعد الاكتشاف ان واضعي المؤسسات ومبدعي الاختراعات قد أخطأوا حول المستقبل المتوقع لما قاموا به . كان سان سيمون Saint - Simon واتباعه معجبين بالسكك الحديدية ، ويرونها تسير سيرها نحو السلم الدائم في حين انهم هم كانوا يسرعون نحو الحرب الشاملة . وقد ظن الفلاسفة والشعراء ان التقدم يؤدي الى حرية الفرد في حين انه ادى نحو التنظيم الشامل للبشرية . واستمر العلم يمجد نيوتن New-ton ويشهره في حين قضى عليه .

ما هو اذاً هذا القرن ؟ انه مركز حقبة تمتد وحدتها الظاهرة بين السنوات 1780 و1920 . وهي حقبة تبدأ في اكبر الثورات الاوروبية التي اقترنت بحرب اوروبية واكتملت بأولى الحروب العالمية ، وما رافقها من ثورة اجتماعية هي الأعمق . انها حقبة برزت فيها بكاملها جملة عجيبة من الاختراعات الثورية والمسيطرة حملتها عبر البحار الغربية ، بحسب التعبير « السفينة السكرى » من طرف من اطراف العالم الى الطرف الآخر .

هذا القرن التاسع عشر لم يكن عصر التراث . انه عصر الانفجارات . كل شيء فيه مبعثر ، والسلطة الملكية مقسومة بين الرؤوس المئة للبرلمانات ، والنظام الاقطاعي موزع بين تعددية المغامرات البرجوازية . وكان من الطبيعي الايمان بالفرد كعنصر اساسي ، وحتى وحيد للتقدم ، وبالحرية الضرورية لتفتح هذا الفرد . لقد آمن القرن التاسع عشر بالعبقريات .

قرن العبقريات . ـ في التراث الكلاسيكي ، كانت العبقرية[1] تعتبر شيطاناً صغيراً أو إلهاً صغيراً في غير مكانه الصحيح في الميتولوجيا القديمة ، كما انه غير معتبر في عالم الجن المسيحي . وفي اغلب

(1) للكلمتين عبقرية وجنّ نفس المرادف باللغة الفرنسية : Génie .

الأحيان تبدو العبقرية اليفةً ومفيدة اكثر مما هي ضارة . ولكنها قلما كانت تؤخذ على محمل الجد . اما في العصر الرومنطيقي من القرن التاسع عشر ، فالعبقرية هي رجل ، ورجل عظيم ، او احياناً ، نوع من تجسيد الاختراع الإلهي ، انها حاملة المشعل امام البشرية التي تقاسي من آلامها وتفرح بانتصاراتها . تجب اعادة قراءة الصفحات التي خصصها فيكتور هيغو Victor Hugo لهذه الانتصارات والآلام : سلسلة طويلة من الأنبياء والمخترعين والأبطال في السلم وفي الحرب . ولكن الجدول لا يبدو طويلاً في الماضي الا لانه معني بالتاريخ كله . وفي الواقع ، وحتى سنة 1815 كان عدد العباقرة الذين يدعيهم كل قرن صغيراً ، وفي القرن التاسع عشر اصبح هذا العدد كبيراً.لقد تفتحت العبقرية في كل المجالات ، في الآداب والفنون والسياسة والتقنية والعلم .لقد عرف القرن التاسع عشر العبقرية بالتعريف الذي اتخذه لنفسه .

في القرن العشرين اصبح عدد المكتشفين والرجال المشهورين كبيراً الى درجة انه اصبح من العبث بالنسبة الى الرجل المتنور ، ان يطمح الى معرفة حتى اسماء العباقرة : لقد ضاع العباقرة في جمهورهم بالذات . واذاً لقد كان القرن التاسع عشر فريداً بذاته اذ كان العباقرة فيه كثيرين وتمكن معرفتهم .

وهذا مرده الى منتهى فعالية العمل التوضيحي ، والصياغة ، والتعريف ، وهي امور قام بها واضعو الموسوعات .لقد مهدت الطريق كثيراً امام العمل اللاحق الى درجة ان الجمهور المعتاد على بطء التصور في القرون الماضية المكبل بالتحفظات الخاطئة وبالتحديدات الوهمية ، أصبح يرى العبقرية في كلّ موهبة .

بين هذه الخصوبة التي بدت يومئذٍ جديدة كل الجدة وبين التبعثر البركاني الذي سبق وأشرنا اليه ، بدت الروابط وثيقة : ان الفكر المبدع لا يمكن ان يحبس لا داخل اطر مجتمع قديم ولا داخل اطار قارة واحدة ، إنّه الايمان الأعمى بهذه الحقوق القوية جداً حقوق هذا الفكر الخلاق الذي برر الثورات ، وحسن تبول الحروب . ان الأموات الابطال لم يضحوا تضحيات عالية جداً من أجل قوة الانسان الجديدة .

ولكن ما يصلح للقرن التاسع عشر بأكمله يصلح أيضاً للعلوم وللتقنيات التي ازدهرت فيه . ان التعاريف المهمة التي فرضت نفسها حوالي سنة 1800 بدت اكثر اهمية في مجال العلم اكثر مما هي في السياسة او في الفن .

سيادة الميكانيك وسيادة « الكمية » . . . ـ بين غاليلي Galilée ونيوتن فرضت نفسها فكرة الكتلةأو « الكمية » (masse) ، وبعد لافوزيه Lavoisier ظل الميزان هو الابسط ، وأصبح اكثر المعدات دقة في الفيزياء .وقد سبّق وأوحى بالعديد من التحليلات ، وفرض بعد ذلك « الكمية » la masse ، التي كانت تقاسي عموماً بالنسبة الى وزن ، باعتبارها العنصر الاكثر بساطة والاكثر يقيناً ، العنصر الذي بواسطته تعرف الحقيقة . وانطلاقاً من هذا المفهوم المركزي انتظمت المجالات الجديدة في الفيزياء وفي الكيمياء . ان البحث عن الكمية الاكثر صغراً ادى الى اعطاء كلمة ذرة العتيقة تعريفاً يقاس غناه الجديد بالفعالية التي اثبتها مندليييف Mendéléev ، في حين اتاح الاسم الجديد اسم امبير

Ampère، وضع الكهرباء الغامضة من ضمن الأشياء التي يمكن قياسها .

في الكيمياء كما في الكهرباء ، بدت المهمة مسهلة أمام بعض الرجال العظام ، بين 1800 و 1850 ، وقد تخلد هؤلاء عن طريق تسمية وحدات القياس بأسماء مخترعيها . لقد احاط فولتا Volta وامبيربغوس Gauss، قبل ان يفتح فراداي Faraday السبل الجديدة امام الكهرباء المغناطيسية .

في هذه الاثناء ،من بريستلي Priestleyالى لافوازيه Lavoisier، الى غاي ـ لوساك Gay - Lussac الى دالتون Dalton ، تحددت الأجسام البسيطة في الكون بأوزانها الذرية الذاتية . وحوالي 1850 تم اكتشاف حقل ضخم ، فقدمت وسائل قياس ذات دقة كبرى المعطيات التي تلائم الرياضيات في تقدمها المنفرد سابقاً ، والمقرون الآن بالتطبيق الطبيعي والمسبوق والمؤهل لتلبية المقتضيات الجديدة في علوم الطبيعة .

وهكذا اتخذت كل الوحدات الجديدة اللازمة للمقاييس الدقيقة المعبر عنهابالوزن،او بالكميات ذات المكنات القريبة جداً من مكنات الوزن ، مكانها ضمن مجموع أوهم الكثيرين بوجود اواليات . وقد احس العديد من العلماء بأن العلم قد كشف مكامن وثوب العالم وانه اكتشف الله .

ذهول الفلاسفة : ـ ومع ذلك يجب ان لا يخدعنا غرور بعض العلماء ، فعلى العموم كان الرجال الذين سلطوا ملاحظتهم على عمل ادواتهم أكثر مما سلطوها على فكرهم ، يهزأون من تبجحات الفلاسفة وخاصة هيغل Hegel . ومن كانط Kant الى هيغل تحقق في حكمة الكون منعطف جدير بأن يحلل .

لقد عاش كانط في زمن ، لم يكن منذ ميروندول Mirandol، سن المستحيل على الاطلاق على رجل ذي فكر منفتح ومجتهد أن يأخذ فكرة عامة عن المعارف البشرية . واذا كان ديكارت De-scartes قد بدا كنبي في العالم النيوتني ، فإن كانط هو بحق فيلسوف هذا العالم . فقد كان حساساً الى ما هو الأفضل في المخترعات التجريدية من القرن الثامن عشر ، فاستخرج منها منظراً عاماً فكرياً استطاع فكره النقدي ان يستبعد منه استبعاداً موفقاً نوعاً ما كل ما هو باطل بحيث شكل فعلاً مقدمات صالحة لكل ميتافيزياء مستقبلية .

وللأسف فإن الميتافيزيقيون الذين تبعوه بدلاً من تقليده في عمله ، والنظر الى العلوم ، اغرقوا انفسهم بأنفسهم ، ونظروا في المقدمات كنظرة النقاد فأهملوا الدخول الى المختبرات حيث تتقدم العلوم ، وبعدها اقترحوا مقترحات تصلح كتأملات تتناول الجهد البشري الذي استبعد فيه القياس والوزن ، تأملات باطلة في نظر العلماء الذين تشكل الدقة عندهم الفعالية الحقة المحددة .

اسبقية التجربة على الاستنتاج ـ اذا لم توجد اتصالات بين الميتافيزياء في القرن التاسع عشر والعلم الذي يعاصره فذلك بسبب ان العلم ، في تلك الحقبة ، ينزع الى التفلت من كل نظرة شاملة . والأسباب ؟ التوسّع المدهش، منذ الثلث الثاني من القرن في مجالات العلم . توسع جغرافي أولاً . فمنذ القرن السادس عشر حتى القرن الثامن عشر كانت اوروبا العاملة هي اوروبا الغرب : لقد استمر التراث الايطالي في نجاحات سبق ان تباطأت . وبين فرنسا ومنطقة رينانيا تقدمت السبيل الجميلة من

ديكارت الى ليبنز Leibniz ومن برنولي Bernoulli الى موبرتويس Maupertuis والى تلامذة دالامبير d'Alembert وانتصرت انكلترا بنجاح نيوتن newton وكان القرن التاسع عشر هو قرن اوروبا الشرقية . فاستيقظت عبقريتها مع الألماني غوس، واتسعت مع الروسي لوباتشفسكي *Lobatchévski* ثم عبر ريمان Riemann ، وقاد وايرستراس weierstrass الى انشتاين Einstein . هذا التوسع الجغرافي اقترن بازدهار متنوعات الرياضيات بحيث ادت الى التناقضات التي فصلت مثلاً بين المتخاصمين اللذين هما كرونيكر Kroneker وديديكين Dedekind والتي ألهمت بول Boole بجهد تناول ليس الحسابات فقط بل العمليات الذهنية التي تبررها . وأخيراً اعتبر توسع الرياضيات دليلاً على توسع الفيزياء والكيمياء .[1]

وانطلاقاً من مفهوم الحقل المغناطيسي بحثت المفاهيم النيوتنية في الفضاء . وإذا كانت الأفكار حول الجاذبية قد أثارت الإهتمام سريعاً ، فإن المسائل التي طرحتها دراسة السرعة الضوئية قد وسعت التناقضات التي فصلت بين مختلف أقسام الفيزياء . وتراجع التنظيم الوجودي بالفكر العلمي ، هذا التنظيم الجميل المنسجم من زمن أمثال لابلاس Laplace ولاغرانج Lagrange ليحل مكانه نزاع المدارس . وقد زال الفضاء الكانطي، وهو الشرط الاساسي والشامل للحساسية : ان فضاء الفيزيائي تغيرت طبيعته بحسب ما اذا كان يدرس الكهرباء او السمعيات او الحرارة او الجاذبية - وبدت تحولات الكيمياء اكثر تعقيداً . لا شك ان الهرب من الميكانيك المبسط الذي كان سائداً في تفاؤل السنوات 1820 قد حصل . ومن جهة علق مفهوم القصور الحراري بعض افكار الكيميائيين بالقصور الذي عرفه الفيزيائيون . ومن جهة اخرى لم توح النجاحات في مجال الكيمياء العضوية بنجاح في المفاهيم الميكانيكية كما ان الأفكار المبسطة لم تكتشف الهوات التي انفتحت . ان يضطر باستور Pasteur ، بمناسبة اللاتساوقات البلورية ، الى ادخال الحياة واسرارها ، هذا ما يقضي على التطمينات السهلة التي استمدها برتيلو Berthelot من تركيباته .

ان كثرة هذه التناقضات تكفي ولا شك لتفسير ضياع الأفكار ذات الطموحات التركيبية ، ثم زوال الفلسفة كعلم شامل للفكر . واذا كان في القرن الثامن عشر ، لقب فيلسوف يعطي الكيميائيين من قبل «لافوازييه» والرياضيين من قبل لجندر Legendre القيمة والاعتبار، فان هذا الأمر قد تغير مع نهاية القرن التاسع عشر. فالعالم لا يمكن ان يكون الا عالماً، وهو يحرم على نفسه الميتافيزياء، ولا يطمح الا بكل ما هو خاضع للتجربة . اما اولئك الذين يسعون بحكم المهنة أو بحكم العبقرية الى التفلسف ، فانهم يفعلون ذلك خارج المختبرات .

وهذا لا يمنع علماء المختبرات من الخروج منها كما لا يمنع المفكرين من المجالات الأخرى من الدخول الى المختبرات . ولكن في الحالتين إنّ الحركة الوضعية هي السائدة . والحقبة الوضعية التي هي حقبة أوغوست كونت Auguste Comte ، عقبت عصر الميتافيزياء . وانه انطلاقاً من اعتبارات عملية جرت محاولات اما لربط وسائل (الإنتاج) واما لايجاد طرق صالحة من اجل مجالات علمية جديدة ، سوسيولوجية ، أو خاصة ، سكولوجية مثل «السلوكية» الاميركية وفقاً لاسلوب وليم جيمس Wiliam James او الدراسة الروسية للانعكاسات المشروطة وفقاً لاسلوب بافلوف Pavlov .

نهاية سيادة الحس العام السليم ـ ايقظت هذه التناقضات التي اصطدمت بها العلوم والرياضيات في اواخر القرن التاسع عشر ، القلق الذي عبر هنري بوانكاري عنه . ومع ذلك فقد سبق ان وضعت وعرضت وسائل التغلب عليها في العديد من الأعمال التي اولع بها الشاب البير انشتاين ولعاً فتح العصر الحديث .

والموقف الفكري عند انشتاين اكثر اهمية في تاريخ الفكر من موقف ديكارت . لقد نظر ديكارت في الدقة الفاعلة للبراهين الرياضية ، وعرف أن هذه الدقة تؤثر في كل انسان بدون تخلف ، واستنتج من ذلك هذه الشمولية في الحكم الصائب الذي يتمسك به كل انسان ، وجعل « الأنا » الحاكم المطلق ، ومصدر كل حقيقة فقد برهن كانط (Kant) بمثل هذا . اما انشتاين ، فقد تحدى الحس السليم وزعم ان وحدة العلم يجب ان تقدم على التجارب الذاتية الداخلية « للأنا » . واذاً قليلة هي أهمية الدقة الرياضية في الميكانيك العقلاني : ان هي عجزت عن المحافظة على وحدة الفكر العلمي فذاك دليل على كذبها او على صحتها فقط في مجال ضيق .

ان « النسبية » سوف تقدم للرياضيات الجديدة الأولوية على الحسابات ، حسابات الانا المعزول ، اولوية الدروس المنبثقة عن الأشياء عن طريق العديد من البحوث الجديدة التي قدمها باحثون متعارضون ـ وسوف تثبت وحدة الواقع بدلاً من وحدة الفكر الذي يتفحصه .

وسنداً لذلك اوشكت المهمة الذاتية للقرن التاسع عشر ان تصل الى غايتها . وفي ما خص الذرة زالت الفكرة بانها الشيء الذي لا ينقسم لتحل محلها فكرة وجوب تحطيمها ، في حين ان الكون المعقول ، لم يعد يكتفي بأنه منسق مع ذاته اطلاقاً ، بل بالعكس يجب تحديد معالمه وظروفه بحيث يندمج الزمن في الفضاءات اللا متناهية التي لم تعد تؤوّل باكثر من عبارات التطور .

الانسان ابن الحيوان : لم ينوجد فيلسوف في القرن التاسع عشر يعطي لفكرة الإله الحركة بهاءً شبيهاً بالبهاء الذي قدمه الديكارتيون للإله الازلي . وبالمقابل جند كل الفكر المحافظ قواه في الثلث الأخير من القرن لكي يقاوم فكرة تطورية جديدة ، انطلقت لا من الفيزياء الرياضية التي كانت بعيدة حداً عن الجمهور ، بل من مجالات علمية ، بمناسبتها سوف يقوم « الحس الواعي » الديكارتي بمعركته الأخيرة ليتعرف على فشله الاخير : هذه المجالات هي علوم البيولوجيا .

وكان هناك اسمان وكتابان اساسيان ، إنما مختلفان جداً . في الطرف البعيد الغربي من اوروبا ، قام الانكليزي دارون Darwin ، بعد أن ورث من عائلته ومن بيئته حب اشياء الطبيعة بتصنيف الملاحظات التي جمعها خلال الرحلات الطويلة التي قامت بها السفينة بيغل ـ ثم بعد ان قرأ مالتوس Malthus ، فهم الاصطفاء الطبيعي كمحرك اساسي لتطور الأنواع . وفي الحدود الشرقية من اوروبا الوسطى ، اكتشف مندل Mendel ، وهو يغرس بستان ديره ، علم التوالد (علم الوراثة) . وتردد دارون ، خائفاً من اكتشاف شعر بانه سوف يهز الكثير من العقول ، ولاذ بمرض غريب هرباً من مسؤولية بمثل هذه الضخامة ، وانتهى اخيراً بنشر فرضياته التي كان آخرون يعدون انفسهم ليكونوا بطالها . ومات مندل بسلام ، مجهولاً دون ان يشك لحظة بأنه سوف يقدم بعد نصف قرن من الزمن ، الى البيولوجيا الوسائل التي تكمل جهد دارون ثم تتجاوزه .

وقد اصبحت معروفة العواصف التي هزت الافكار في اوروبا ، عندما هبت رياح التطورية . وبدت الحجج المرتكزة على « الحس السليم » ، والتي ادلي بها ضد مفهوم جعل من الانسان حفيد القرد . وبدت خطيرة الأحلام ، الالمانية بصورة خاصة ، التي تقول بأن الانسان سوف يخلفه انسان متفوق شرط ان لا تتزاوج الاعراق الجيدة بالأعراق العاطلة . وتنازل امثال جان باروا Jean Barois المحتضرون ، سريعاً ، في فرنسا عشية الحروب التي قام بها الابناء المتنوّرون لنيتشه Nietzsche ولمدة طويلة ، حتى نهاية سيادة اوروبا .

الانسان سيد الحياة : ولكن هذه المعارك ، معارك فكر الانسان مع الحياة سوف تولد ايضاً علاجات فعالة. وقد سبق لمدارس فرنسية طبية، منذ بداية القرن التاسع عشر كمدرسة بينل Pinel ولانك Laennec، ان رفضت رفضاً كاملاً كل أفانين الصيدلة القديمة، ثم قام كلود برنار Claude Bernard بالتجارب، وأخيراً ثور باستور Pasteur الطب، واعطوا جميعاً للانسان الغربي الأسلحة التي مكنته من قهر الموت في كثير من الأحيان ثم من تمديد متوسط عمر الجنس البشري، وفتح طرق صحية عبر الأدغال والمستنقعات والأحراج في أميركا وأفريقيا وآسيا وأوقيانيا ـ حيث قدم المكتشفون أمل الحياة بحثاً عن سر المناطق المجهولة وعن زراعاتها الغريبة وأصبح علم أصل الانسان (انتروبولوجيا) الشكل الجديد للجغرافيا، وذلك بعد نصف قرن من الزمن بعد أن كان كيتلي Quetelet قد طوع علم الاحصاء. وهكذا أعطت أوروبا قبل أن تغرق في خدع الموت، من جراء حروبها، لبقية العالم وسائل معرفته.

القسم الاول

الرياضيات

ان وصف المراحل الرئيسية لتقدم الرياضيات في القرن التاسع عشر يبدو ، بوضوح اكبر من مجالات أخرى من مجالات العلم ، تحت مظاهر متنوعة ، تنوعاً يختلف بحسب الجهد في وضع هذا التطور في اطار عصره او بحسب الحكم عليه من منطلق العلم المعاصر . واذا كان من الطبيعي ان يعتمد الرياضيون الذين يبحثون عن أصول النظريات الاكثر حداثة هذا المفهوم الأخير ، فان مؤرخ العلوم يتوجب عليه ان يتابع مختلف تيارات الفكر وان يصف ويفسر الاهتمامات المتعددة ، والمختلفة عند علماء كل عصر .

ان القرن التاسع عشر الرياضي هو حلقة انتقال بين الحركة الموسوعية في القرن الثامن عشر ، والتخصص الضيق الذي هو عنوان عصرنا ، كما هو حقبة نمو زاخم، موسوم بتوسع وتنوع مستمرين في حقل البحوث . وفي حين سبقت اهتمامات الدقة والمنطق والتجريد التي برزت في العديد من الأعمال ، ولادة الرياضيات المصاغة بشكل معادلات ، رياضيات القرن العشرين ، عرفت فروع الهندسة ، المختلفة ، ازدهاراً باهراً سوف يتباطأ في اواخر القرن ، مع انهيار بعض الآمال الطموحة اكثر من اللازم ، الى الاستقلال . وقد عرف القرن التاسع عشر ايضاً ولادة وانتشار سريع في الفيزياء الرياضية التي ، وهي تستخدم موارد الاداة الرياضية ، قدمت مواضيع خصبة للدرس ووجهت ، من جراء هذا تطور بعض المجالات . ورغم تناقض هذين التيارين المتجهين احدهما نحو النظرية المجردة والآخر نحو تفسير الظاهرات المحددة فانهما تعاونا لتقديم مجموع البناء الرياضي .

الشروط الجديدة للتقدم : يعتبر التطور الفخم لمختلف فروع العلم الرياضي في القرن التاسع عشر نتيجة مباشرة لتزايد عدد الباحثين ولاتساع متساوق في عدد ما نشروه ، ويبرز هذا التزايد بشكل مستمر عبر القرن وفقاً لقانون ذي نمط ذي دلالة اسية : اذ لوحظ ان المجموع السنوي للمنشورات قد تضاعف بين السنوات 1870 و 1909 .

ومن الأسباب التي تفسر هذه الظاهرة التوسع الجغرافي للثقافة الرياضية العليا التي ، بعد ان تحدد مكانها في بداية القرن في بعض بلدان اوروبا الغربية ـ ظهرت في آخر تلك الحقبة ضمن فضاء

اوسع بكثير ، ولكن العنصر الحاسم هو الازدهار السريع للبحوث الرياضية داخل البلدان الاكثر تطوراً ، وذلك تحت تأثير تزايد الديمقراطية اي تنامي التعليم العالي ثم تمهين نشاط الرياضيين .

هذا التطور بذاته محكوم ببعض العوامل السياسية والاجتماعية والاقتصادية . ان اصلاح التعليم العالي العلمي والتقني ، المتحقق في فرنسا على يد الثورة اعطى للرياضيات مكانة اهم بكثير من الماضي في البرامج واوكل المنابر الرئيسية الى العلماء الاعظم ، مزوداً هؤلاء بوظيفة مهمة اجتماعية ومحرراً اياهم من الاهتمامات المادية الاكثر الحاحاً زيادة على ذلك هذا الاصلاح وضع التعليم في الاتصال المباشر مع البحث ، وجعله مفتوحاً امام طبقات اوسع من المجتمع ، وبهذا ساعد هذا الاصلاح على ازدهار النبوغات الاكثر عدداً .

ومن فرنسا انتشر هذا التيار الى بلدان اوروبا الغربية الأخرى واقترنت فيها مع تبلور الشعور القومي كعامل فخم في التقدم كما اقترن بازدهار حركة الآلة ازدهاراً ساعد البحث التطبيقي ، كما ساعد بصورة غير مباشرة في كمال الآلة الرياضية .

وقد اقترن توسع البحوث بانشاء عدد متزايد من المجلات المتخصصة وبظهور المجلات المرجعية الأولى وبتأسيس الجمعيات الرياضية الإقليمية أو الوطنية مثل : لندن متمتيكل سوسيتي London Mathematical Society. (1865) (والجمعية الرياضية في فرنسا Société Mathematique de France (1872)، وايدنبورغ متمتيكل سوسيتي Edinburgh Mathematical Sociéty (1883)، وسيركولو متمتيكو دي بالرمو Circolo matematico di Palermo (1884)، واميركان ماثمتيكل سوسيتي . American Mathematical Society (1888) ، ودوتشي متمتيشا فيرنغن (1890) - Deutche Mathematische Vereinigung الخ . وشاهدت المؤتمرات الدولية الاولى في الرياضيات (زوريخ ، 1897؛ وباريس، 1900) مواجهات حامية . من ذلك أن هيلبرت Hilbert قدم تقريراً الى مؤتمر 1900 ذكر فيه جدولاً بالبحوث الحديثة ، ولوحة واضحة جداً بالمسائل الأكثر أهمية والتي طرحت في بد. القرن العشرين .

الوضع في مختلف البلدان : كانت فرنسا المركز الذي لا ينازع للرياضيات وبحوثها في بداية القرن ، وكان أهم نشاطها متمركزاً في باريس حيث قدمت مدرسة بوليتكنيك خلال عدة عقود ، مجموعة من الرياضيين ومن الفيزيائيين الرياضيين ذوي القيمة وأدى تأسيس كليات العلوم وانشاء المدرسة العليا للمعلمين الخ ـ حوالي 1840 الى انهاء احتكار مدرسة بوليتكنيك مع المحافظة على الدور المميز للعاصمة . ان الشهرة الرياضية لباريس جذبت نحوها في الثلث الأول من القرن العديد من الطلاب والباحثين الأجانب الراغبين في الاطلاع على اكثر مظاهر البحث جدةً وعلى الرغم من ان بهاء الجامعات الالمانية قد جذب فيما بعد قسماً مهماً من هذه النخب المختارة فقد ظلت باريس طيلة القرن واحدة من اوائل مراكز التعليم الرياضية . وقد ساهم نشر الكتب ذات القيمة العلمية ، في العديد من البلدان ، ايضاً في المحافظة على شهرة التعليم الفرنسي . وبالمقابل ظهرت مجلات متخصصة مهمة الى الوجود : مثل مجلة مدرسة بوليتكنيك (1795) ، حوليات الرياضيات في جرغون (1811 - 1832) مجلة الرياضيات الخالصة والتطبيقية في ليوفيل (1837)، الخ . في حين امنت التقارير الصادرة عن اكاديمية العلوم ، المؤسسة سنة 1835 الانتشار شبه الآني للنتائج الجديدة .

كانت المدرسة الالمانية محكومة طيلة نصف قرن من الزمن بشخصية « غوس » المهمة وكان هذا يعيش في شبه عزلة في غوتنجن . وانطلقت المدرسة الرياضية الألمانية بين السنتين 1820 و 1830 وحققت نمواً باهراً اتاح لها الوصول الى الدرجة الاولى من التقدم في العديد من المجالات ، حتى تجاوزت المدرسة الألمانية بعدد مراكزها الناشطة وممثليها ونشراتها، المدرسة الفرنسية . وكان هذا الازدهار مرتبطاً في الانطلاقة،بالاصلاح في التعليم الجامعي وبالأثر الفعال الذي احدثه ا.فون همبولت A. von Humboldt ، وتمثّل بانشاء الاجتماعات الاسبوعية والمجموعات الصغرى العاملة تحت اشراف اساتذة .

وكانت المراكز الاكثر نشاطاً والاكثر اعتباراً هي : غوتنجن وتميزت بطول اقامة غوس فيها ، وفي اواخر القرن بوجود هيلبرت Hilbert ، وبرلين Berlin، حيث شكل وايرستراس Weierstrass مجموعة تلامذة عظام ، ثم مركز كونيسبرغ ، والذي اشتهر بتعليم جاكوبي Jacobi وبمدرسة شهيرة في الفيزياء الرياضية ، ثم بريسلو Breslau ، وبون Bonn وارلنجن Erlangen وهال Halle الخ . . وثبت تأسيس مجلة « fur die reine und angewandte Mathematik» في كريل ، منافسة « حوليات » جيرغونGergonne ثم مجلة ليوفيل Liouvile، بشكل جيد اعتبار المدرسة الالمانية .

وظلت المدرسة البريطانية بمعزل عن الحركة الرياضية الاوروبية منذ منتصف القرن الثامن عشر ، كما ظلت جامدة امينة لحد العبودية للتراث النيوتني ، ثم تحررت من عوائقها في العقود الأولى من القرن التاسع عشربفضل تحديث مناهج التعليم وبشكل خاص ادخال العلامات الكسرية اللامتناهية التي اعتمدها ليبنز Leibniz . وظهرت نتائج مشرقة ابتداءً من الجيل التالي . ولعبت المدرسة البريطانية دوراً مهماً بشكل خاص في نمو الفيزياء الرياضية ، وفي تأسيس المنطق الرياضي والجبر المستقيم والهندسة الجبرية وفي ولادة البيومتريا الحديثة .

وكان تقديم ايطاليا متواضعاً بخلال النصف الأول من القرن ثم نما بعد ذلك بسرعة وقامت مدرسة شهيرة تشارك بحيويه في صراع النهضة (ريزرجيمنتو) ثم في اعادة التنظيم العلمي في ايطاليا الموحدة ، وقامت هذه المدرسة بعمل مهم وأصيل في الهندسة الجبرية والهندسة التفاضلية . واقترن بهذا التيار الذي امتد حتى القرن العشرين تيار آخر متوجه نحو الدراسة المنطقية لمبادىء الرياضيات . ورغم الوحدة السياسية ، احتفظت غالبية المراكز القديمة او عاودت نشاطها في حين اضيفت الى المجموعات الاكاديمية مجلات مهمة متخصصة .

في هذا الوقت لم تنتج سويسرا وبلجيكا والبلدان المنخفضة ، وهي بلدان ذات ماض غني ، الا بعض الرياضيين من المرتبة الاولى مثل ل . شلفلي L . Schlafli وج. شتاينر J . Steiner وا . كيتلي A . Quetelet ، ودخلت اقاليم اخرى في مجال الرياضيات الحديثة . ذلك هو حال اسكندينافيا وروسيا اللتين اشتهرت مدارسها الرياضية منذ ولادتها بعبقريات : ن . هـ . آبل N .H . Abel ، ون . ي . لوباتشفسكي ، N .I . Lobatchevski ، واذا ظلت اوروبا الوسطى والدانوبية بمعزل عن التقدم، فهناك استثناءان يستحقان الذكر ، اولهما الهنغاري ، ج . بولي J . Bolyai ، منافس لوباتشفسكي وثانيهما التشيكي ب . بولزانو B . Bolzano ، مجدد التحليل .

وبخلال القرن التاسع عشر ، لم تشترك بقية المناطق عملياً بالنهضة الرياضية ، باستثناء الولايات المتحدة الاميركية، التي ، كانت قليلة الاهتمام في البداية بالعلوم النظرية ثم تدخلت بشكل واسع في النصف الثاني من القرن ، معلنة عن روعة نهضة الرياضيات الاميركية في القرن العشرين .

الفصل الأول

الجبر والهندسة (الجيومتريا)

I ـ تجدد الجبر

1 ـ نظرية المعادلات ونظرية المجموعات .

القاعدة الاساسية : في مجال الجبر ، كما في العديد من القطاعات الأخرى في الرياضيات ، طبعت الشخصية القوية التي تميز بها س . فـ . غوس . G . F . Gauss (1777 - 1855) بطابعها الخط الدقيق ، خط التقدم . ومنذ اطروحته (هلمستاد ، Helmstadt 1799) اعطى غوس اول دليل دقيق على « قاعدة الجبر الاساسية» ، التي صيغت منذ 1629 ، من قِبَل جيرار Girard ، واثبتت بشكل غير كامل من قبل دالامبير d'Alembert ثم من قبل اولر Euler (يراجع المجلد الثاني الفصل 1 ، الكتب1 ، القسم 3) .وعاد فيها بعدإلى هذه القاعدة ونشر عنها عدة تبينات ذات مناح متنوعة .

المعاملات من الدرجة الاعلى من اربعة : ولكن في فجر القرن التاسع عشر بقيت مسألة الجبر الاساسية هي مسألة حل المعادلات من الدرجة فوق اربعة ، والتي وجهتها اعمال لاغرانج ، وفاندرموند (يراجع المجلد 2 ، الفصل 1 ـ الكتاب 1 ـ القسم 3) في اتجاه بدا خصباً ، هذا الاتجاه الذي هو اتجاه نظرية الزمر ونظرية الاجسام ، كان في بدايته ، ولم يحصل حل هذه المسألة المعضلة الا عندما اصبحت هذه القواعد راسخة بما فيه الكفاية . وانه في هذا المنظور يدخل الجواب الذي قدمه غوس انظر لاحقاً لمسألة حل المعادلة($x^n - 1 = o$) (وفيها يكونn عدداً أوّل مفرداً) جواب يدل على وعي مسبق واضح لنظرية المجموعات الدورية . وانه في هذا الاتجاه ايضاً سار الايطالي بولوروفيني Paolo Ruffini (1765 , ـ 1822) الذي حاول أن يثبت (عن طريق وضع المبادىء الاولى لنظرية الزمر (التبديلات) وعن طريق دراسة سلوك الاسات الجذرية للجذور ، عند نقل او تحويل هذه الجذور) استحالة حل المعادلة العامة من الدرجة الخامسة .

وبعد توجيه النقد الى محاولته الاولى للتبيين (النظرية العامة للمعادلات ، بولونيا 1799) ادخل روفيني عليها جلة من التعديلات الاستكمالية ـ ورغم ان القاعدة كانت صحيحة في مبدئها ، الا ان

محاولته الأخيرة (اعادة نظر في حل المعادلة الجبرية العامة ، مودين 1813) كانت تفتقر أيضاً الى الدقة اللازمة للحصول على التأييد العام . وكان كوشي Cauchy الذي قدم ، في تلك المرحلة (1815) مساهمة مهمة في نظرية الزمر الناشئة ، احد الرياضيين المعاصرين القلائل الذين قدروا القيمة الاكيدة لعمل روفيني .

وعاود الرياضي الشاب النروجي نيلس هنريك آبل Niels Henrik Abel (1802 - 1829) بدوره دراسة هذا الموضوع . وبعد ان ظن انه عثر على صيغة حل عن طريق علامات الجذور (راديكو) للمعادلة العامة من الدرجة الخامسة ، اثبت (1824 . 1826) استحالتها عن طريق التحليل العقلي الأكثر دقة من تحليل روفيني . ووجهة النظر الجبرية التي اعتمدها فيما بعد ، في دراسة الدالات الاهليلجية او البيضاوية [1] قادته الى اكتشاف مختلف انماط المعادلات القابلة للحل عن طريق اشارات الجذور ـ ومنها معادلات آبل الشهيرة ـ ثم للبحث عن معايير تميز مثل هذه المعادلات ـ وادى الموت المبكر لابل Abel الى قطع هذا العمل في الوقت الذي باشر معالجة هذه المسألة نابغة جديد شاب هو الفرنسي غالوا Galois .

غالوا ونظرية الزمر : مات ايفاريست غالوا Evariste Galois (1811 - 1832) وهو دون الواحدة والعشرين على اثر مبارزة . ورغم ان نشاطه الابداعي قد تعطل نتيجة مشاركته في الاضطرابات السياسية ، وبسبب المصائب الصعبة التي حلت به ، وسوء الفهم الذي لقيه لدى العلماء النافذين ، فقد بدا واحداً من اكثر العلماء الرياضيين اصالة في عصره .

فعدا عن مذكرة موجزة قدم بها « الاعداد التخيلية عند غالوا »[2] . فان جوهر عمله يكمن في رسالة كتبها « حول شروط حل المعادلات بواسطة دالات الجذور » التي قدمها امام اكاديمية العلوم في باريس سنة 1831 . وكان غالوا متيقناً من صوابية مفاهيمه ولكن صدم بالتقرير المعاكس الذي وضعه بواسون Poisson . وسجن بعد ذلك بقليل نتيجة نشاطاته السياسية . وبعدها لم يحرر اية رسالة اخرى . وفي الليلة التي سبقت المبارزة المحزنة ، جمع في كتاب ارسله الى احد اصدقائه الأفكار الرئيسية التي لم يستطع ان يوسعها .

« سوف تطلب علناً من جاكوبي Jacobi او من غوس ان يبديا آراءهما ، لا على صحة القواعد بل حول اهميتها ، هذا ما طلبه غالوا ، وبعد هذا سوف يكون هناك اشخاص يجدون مصلحتهم في حل كل هذه الرموز . اعانقك بحرارة » .

ان اهمية هذه المفاهيم التي جمعت بسرعة ضمن هذه الوصية المؤثرة العلمية تدل على ان غالوا ، لو طال عمره لكان اثر تأثيراً حسناً في العديد من مجالات الرياضيات . ومهما يكن من أمر ان افكاره التي تم انجازها لم تعرف الا عندما قام ليوفيل Liouville سنة 1946 ، اي بعد 14 سنة من موت غالوا ، بنشر مجمل عمله[3] .

---

(1) (2) راجع بهذا الشأن دراسة ج . ايتار في الفصل القادم .

(3) نشرج ـ تنيري سنة 1908 عدة مقاطع مهملة اهملها ليوفيل . ان هذه النصوص وكذلك الرسالة التي ذكرت اعلاه تدل على ان غالوا قد اهتم بالتكامليات في الدالات الجبرية لتغير ، ضمن منظور قريب نوعاً ما من المنظور الذي اتبعه ريمان فيما بعد .

ان المسألة الاساسية التي عالجها غالوا هي مسألة حل المعادلات التي وسعها بشكل اعم ممن سبقه ومنهم لاغرانج Lagrange وروفيني Ruffini وآبل Abel . وفي أساس نظريته نجد المعلومات عن الاجسام (وهذه نظرية رسمها غوس سنة 1801) الاستلحاقية وعن متعدد الحدود غير القابل للاختزال حول جسم معين (وهي فكرة سبق ان استعملها آبل) والتي سوف يطورها ريمان Riemann وديديكين Dedekind ، ونجد فيها ايضاً المبادىء كما نجد الخصائص المهمة لنظرية المجموعات الاستبدالية التي بدا غالوا وكأنه المؤسس الحقيقي لها .

ومن اجل معالجة مسألة حل المعادلات الجبرية بيَّن غالوا انه بالامكان جمع زمرة من الاستبدالات الى كل معادلة من هذا النوع ، بحيث تتناول الاستبدالات مجمل جذورها ، زمرة تعكس في داخلها بعض الخصائص الاساسية للمعادلة . ورفض غالوا استخلاص الحالآت مباشرة من المعادلة المعطاة ، انطلاقاً من هذه المعادلة ، ففكك من اجل هذه الغاية ترتيب الزمرة المقترنة بسلسلة من العناصر (سلسلة من تركيب الزمرة) ، وتكون هذه السلسلة قد حُصل عليها سنداً لقواعد متعلقة بهيكلية هذه الزمرة . ان قابلية الحل في المعادلة المعطاة والتي تستخلص من امكانية الحصول على سلسلة من الحالآت الثنائية الحدود ، تتطابق عندها مع الحالة التي تكون فيها سلسلة تكوّن الزمر مؤلفة من عناصر اولى .

ان استحالة الحل عن طريق دالات الجذور في المعادلة « العامة » من الدرجة الاعلى من اربعة تنتج عن ان سلسلة تركيب الزمرة المقارنة تتضمن دائماً عنصراً ليس أوّل . .

تقدم نظرية الزمر : ان نظرية الزمر ، وهي مفتاح نظرية المعادلات تُظهر قوتها التفسيرية ، التكوينية والتوحيدية ، في معظم القطاعات الأخرى من الرياضيات ، كاشفة عن مماهاة الاواليات العملياتية وقوانين الدمج ، هذه المماهاة المغطاة تحت تنوع الممثلات ، واللغة ، وموضحة بالتدريج فكرة البنية المجردة التي تلعب دوراً مهماً في الرياضيات الحديثة . لقد اهتم غالوا Galois بشكل خاص بالزمر الاستبدالية ، وتكوّنت لديه فكرة واضحة نوعاً ما عن القاعدة العامة للزمر . هذه النظرية تكمن ايضاً ضمن بعض المسائل المتعلقة بنظرية الاعداد التي عالجها « غوس » Gauss كما تكمن ايضاً في دراسة التحولات الجيومترية الناشطة في الربع الثاني من القرن التاسع عشر . .

وعند نشر كتابات غالوا كان كوشي Cauchy قد عاد الى دراسة الزمر التجريدية ذات النظام المتناهي (1844) . وبعد ذلك بقليل قام بيتي Betti في ايطاليا وكالي Cayley في انكلترا ، وج . سيريه J . A . Serret ، وجوردن Jordan في فرنسا ، وسيلو Sylow في النروج وكرونيكر Kronecker وديدكين Dedekind في المانيا بمهمة نشر عمل غالوا بعد توضيح بعض التحليلات وتدقيقها او النظر في التطبيقات العملية لنظرية الزمر على نظرية المعادلات او في مختلف مجالات الرياضيات . وبناءً عليه طبق كيلي نظرية الزمر المجردة على الرباعيات (كواترنيون ، 1854) كما ان هاملتن Hamilton (1856) درس زمر المتقابلات في المتعدد الأوجه المنتظم .

ولكن افكار غالوا لم تقدر حق قدرها الا بعد نشر « كتاب الاستبدالات » لكميل جوردان

Camille Jordan (1838 - 1922)، كما ان نظرية الـزمـر لم تدخـل بشكل مستمـر التوسـع في المجالات الاكثر تنوعاً في الرياضيات : جيومتريا ، نظرية المعـادلات التفاضـلية او المشتقات الجـزئية الخ . الا بعد نشر هذا الكتاب ايضاً ، وقد بين فيلكس كلين Felix Klein ، وسوفوس لـي Sophus Lie ، اللذان اتبعا سنة 1870 تعليم جوردان Jordan الـدور العـظيم الحـاصـل في مختلف فـروع الهندسة ، بفضل الـزمر المتفرقة ، وبفضل الـزمـر المتتالية ، وكلها عناصر خصبة في التفسير وفي التوحيد بحيث تسمح بتوضيح البنية العميقة للبناء الجيومتري ويربط النظريات المختلفة الأصول . وفي الجبر ، وبفضل كرونيكر Kronecker وويبر Weber وفروبنيوس Frobenius، الخ . ارتبط هـذا التوجه في الدراسات بشكل طبيعي جداً بالجهود المتلاقية التي هيأت لولادة الجبر الحديث .

وعلى هذا تلقت نظرية المعادلة العامة من الـدرجة الخـامسة تحسينـات مهمة . فقـد بين بـرنغ Bring (1786) ، وجرارد Jerrard (1832 - 1835) كيف تكون العودة بمثل هذه المعادلة الى شكل مختصر ثلاثي الحدود وفقاً لمنهج سوف يحسن فيها بعد من قبل هاملتون Hamilton ومن قبـل سلفستر Sylvester . وفي سنة 1858بين هرميت Hermite ، ثم كرونيكر Kronecker وبريوشي Brioschi بأن حل هذه المعادلات يمكن ان يفسر بواسطة الدالات القياسية . وبكثير من الاناقة ، بين كلين ووضع الروابط الوثيقة التي تجمع دراسة هذه الدالات ، كما وضع نظرية المعادلة من الدرجة الخامسة ونظرية زمر التماثل او التناظر في المنتظم العشريني الوجه (كتاب : vorlesungen uber das ikosaeder und die Auflosung der Gleichungen Grades ليبزيغ ، 1884) .

طرق الحل المتقارب في المعادلات : ان المسائل المتعلقة بالحل الفعلي للمعادلاتالعددية كانت ايضاً موضوع العديد من الاعمال .

في حين حسن موراي طريقة الحل المتقارب التي وضعها نيوتون ـ رافسون Newton - Raphson قام فوزيه ، وج . داندلان ، ورفيني(1804) ، وو.ج . هورنر بتطوير طريقة سبق استعمالها في الصين في القرن الثامن عشر ، عرفت تحت اسم « طريقة هورنر » نجاحـاً قويـاً في انكلترا وفي الـولايات المتحدة . ونذكر ايضاً الاسلوب المدروس من قبل ي . ورنـغ E . Waring دانـدلان Dandelin والـذي نفذه س . هـ غـراف C.H. Graffe (1837) والذي اتـاح بـواسـطة استعمـال السـلاسـل المتكررة ، احتساب كل الجذور الحقيقية والمعقدة الموجودة في مطلق معادلة ، احتسابـاً تقارنيـاً . وقد استكمل وعمم حل المعادلات العددية بمساعدة سلاسل، شغلت الرياضيين في القرن الثامن عشر ، وذلـك من قبـل المؤلفـين المختلفين ، من جاكوبي Jacobi (1930) الى ي . مـك كلنتـوك E . Mc Clintock (1895) ، في حين ان غوس Gauss وبلافيتيس Bellavitis ور . ميمـك M . Mehmke استفادوا من المكاسب التي حققتها تقنية اللوغاريتم .

واستكمل توطين الجذور الحقيقية لمعادلة رقمية ، هذا التوطين الذي اطلقه ديكارت (1637) من قبل فوريه Fourier (1796و 1820) ثم من قبل ستورم Sturm الذي اوضح ، ضمن قاعدة مشهورة

(1829) العدد الصحيح للجذور الحقيقية المحتواة ضمن حدين محددين. في حالة الجذور المعقدة اعلن كوشي سنة 1831 عن قاعدة سرعان ما اصبحت كلاسيكية تتعلق بعدد الجذور الحقيقية او المعتمدة الموجودة داخل محيط مغلق .

2 ـ بدايات الجبر المستقيم او الخطي . انواع الجبر

ان احدى مميزات تطور الجبر في القرن التاسع عشر هي الأهمية المتزايدة المعطاة لمسألة دراسة المسائل المستقيمة او الخطية . هذا التيار قد برز من خلال الأعمال العديدة المخصصة للمحددات ، ثم بواسطة ادخال المصفوفات ،ودراسة الاشكال الجبرية واللامتغيرات ، وبنظرية الرباعيات والاعداد البالغة التعقيد ، وأخيراً بواسطة فهم انماط جديدة للجبر . وعلى نفس الخط تحقق توسع في مجال هذا الجبر المستقيم ، الذي حبس في بادىء الأمر ضمن دراسة أنظمة المعادلات الجبرية من الدرجة الأولى ثم توسع بصورة تدريجية فشمل انماطاً واسعة من المعادلات التفاضلية والمشتقات الجزئية ، مظهراً بآن واحد ، وفي مجال الهندسة خصوبة اكيدة وقدرة تفسيرية قوية .

نظرية المحددات : ان دراسة المحددات التي اطلقت في القرن الثامن عشر ، دون ان تفسر الالغور يتم بشكل واضح ، عرفت نمواً واسعاً في القرن التاسع عشر .

فقد ادخل هـ .رونسكي H.Wronski عدة محددات خاصة درس احدها من قبل ليوفيل Liouville وحمل اسم « المحدد الرونسكي » . وقد اوضح كل من ج.ب. بينيه (1813) وكوشي ، الذي ادخل كلمة « محدد » بمعناها الحديث ، وجاكوبي Jacobi الذي نشر العديد من الأعمال الاصيلة ، ودراسات مميزة تأليفية (1841) ، جميعهم اوضحوا المبادىء التي تحكم النظرية العامة للمحددات وساهموا في انتشار هذه الالغورتمية . في حين ان هس Hesse طبق المحددات على نظرية الاستبعاد الجبري وعلى دراسة المنحنيات من الدرجة الثالثة . وطور كيلي Cayley ، الذي ادخل الترميز الحديث ، وسلفستر Sylvester ، نظريتها ، ووسعا حقل التطبيقات ،وساعد ادخال المصفوفات matrices ونظرية اللاّ متغيرات على دراسة الخصائص العامة للمحددات ، ونشر العديد من الأعمال الخاصة . وهذا النمو قد برز من خلال نشر العديد من الكتب في النصف الثاني من القرن خصصت لخصائص المحددات ولتطبيقاتها في الجبر الكلاسيكي وفي الجيومتريا وفي التحليل .

المصفوفات والحساب المصفوفي ـ تعتبر المصفوفات، وهي توسيع لمفهوم المحدد، انها ظهرت في الدراسات المتعلقة بتكوين التحولات الهموغرافية التي حققها « آرثر كيلي » (1821 - 1895) ابتداءً من سنة 1843 . وفي سنة 1853 ادخلها « هاملتون » بشكل اكثر وضوحاً في كتابه « محاضرات حول الرباعيات » ، في حين ان الحساب الجيومتري لغراسمن Grassmann ونظرية التكافئات ، قد استعملت ايضاً هذا المفهوم بشكل متفاوت الوضوح. وفي سنة 1858 فقط اوضح كيلي التعريف والخصائص الاساسية للمصفوفات . وبعدها اصبح فوز هذا الالغوريتم الجديد والحساب المقرون به ناجحاً بشكل سريع ، في المدرسة الانكليزية اولا بواسطة كليفوردClifford وسيلفستر ،ثم في اميركا حيث استخدمه بنجامين بيرس Benjamin Peirce في نظريته حول الجبر المستقيم القابل للتشارك ـ وفي

القرن العشرين ازدادت أهمية هذا الحساب المصفوفي وذلك بفضل تنهيج الجبر المستقيم وتوسيع مجال العلم .

دراسة الأشكال ونظرية اللا متغيرات : لقد ارتدت دراسة الأشكال أو الدالات المنسجمة المكونة من عدة متغيرات مستقلة ، نمواً كبيراً في النصف الأول من القرن التاسع عشر ، وبالاتصال والتناسق مع نمو الجيومتريا التحليلية ، وبشكل اخص مع استعمال الاحداثيات (خطوط) منسجمة .

في نظام الاحداثيات هذا ترد معادلة المنحني المستقيم او معادلة السطح ، هنا ، الى الغاء الشكل الازدواجي او الثلاثي (ذي المتغيرين او ثلاثة مغيرات ، المستقلة) وكذلك فان التغيرات في الاحداثيات تساوي استبدالات . اما دراسة خصائص الرسوم فتعادل من حيث التحليل دراسة خصائص الاشكال ، ومن جراء هذا تؤدي الدراسة الى اختزالها لتصبح شكلاً قانونياً اي معادلة عمومية ، والى البحث عن لا متغيراتها وعن متغيراتها المتناسبة اي عن مختلف الدالات في اساتها الباقية غير مستنفذة بتأثير بعض التحولات .

ان مفهوم اللا تغير كامن في العديد المتنوع من اعمال لاغرنج وغوس وكوشي وجاكوبي وايزنشتاين Eisenstein ، ولكن المفهوم بذاته لا يبدو انه قد توضح الا في سنة 1841 على يد بول Boole ، وقد تبع هذا المثل من قبل ممثلين اعظمين للمدرسة الجبرية البريطانية ، كيلي وج. سيلفستر J.J. Sylvester (1814 - 1897) اللذين قاما ، في حوالي 1845 بسلسلة رائعة من الأعمال حول نظرية الأشكال (كانتيك) ونظرية اللا متغيرات . وقد كانا يتبادلان الأفكار ويتنافسان في الجهود ، فجمعا في عدة سنوات كمية مهمة من النتائج واوجدا المعجمية والمبادىء الأساسية للنظريات الجديدة .

وقد عملت نظرية الاشكال الجبرية ونظرية اللا متغيرات التي لاقت نشاطاً مخصباً في الدراسة التحليلية للخصائص الاسقاطية التي ترتديها المنحنيات والسطوح الجبرية ، على التأثير تأثيراً حسناً في هذا المجال من البحوث فقدمت بآن واحد نهجاً مريحاً من أجل الصيغة ، وطريقة تحليلية في الاكتشاف . وبعد 1844 ، استخدم هس Hesse الاحداثيات المنسجمة والترقيمات المختصرة ونظرية المحددات في دراسة المنحنيات من الدرجة الثالثة . وبهذه المناسبة ادخل محدداً هو الهيسي (نسبة الى اسمه) الذي لعب دوراً مهماً جداً .

وفي سنة 1858 بين آرونهولد Aronhold ، العلاقات الوثيقة التي تجمع بين اعمال هس ونظرية اللا متغيرات وادخل ترقيماً جديداً . في هذه الاثناء شرعت المدرسة الانكليزية في استخدام هذه النظرية في الجيومتريا التحليلية ، مبينة أهمية بعض المنحنيات مثل القطبيات ، ومنحنيات هس وشتاينر Steiner وكيلي Cayley . وساعدت كتب جورج سالمون George Salmon (القطع المخروطي ، 1848 ، والمنحنيات المسطحة ، 1852 ، والجبر الحديث العالي ، 1859؛ والجيومتريا التحليلية ذات الابعاد الثلاثة ، 1862) وكلها قد اعيد طبعها عدة مرات وترجمت الى الألمانية والفرنسية الخ . هذه الكتب ساعدت على انتشار النظريات الجديدة وتطبيقاتها الجيومترية .

وقدم أرونهولد Aronhold في سنة 1863 رسالة تأليفية بواسطة ترقيمه الذي انتشر استخدامه بشكل واسع . ونهج كليبش Clebsch تطبيق نظرية اللا متغيرات في الجيومتريا الاسقاطية وانشأ في سنة 1868 مجلة اسمها الحوليات الرياضية خصصها لدراسة المناهج الجديدة في الجبر الجيومتري . وفي سنة 1868 - 1869 بين غوردان Gordan ان كل اللا متغيرات والمتغيرات المتوافقة الجذرية ذات الشكل الثاني يمكن ان يعبر عنها بدالة جذرية لعدد متناهٍ (قاعدة غوردان) . وقام رياضيون عديدون من الألمان بتحسين هذه النظرية ، وبشكل خاص كرونيكر Kronecker وكريستوفل Christoffel، وكلين Klein ، وستودي Study وفوك Fuchs .

وفي فرنسا اتبع هذا النهج الجديد من قبل جوردان Jordan ومن قبل هارميت Hermite . وقدم هذا الأخير العديد من النتائج الجديدة القريبة جداً من نظرية الاشكال الرباعية والاشكال الثنائية ذات الارتباط بنظرية الاعداد وبالجبر ، وكذلك بنظرية اللا متغيرات .

وفي ايطاليا نشر بريوشي هذه النظرية وعاد الى دراسة اللا متغيرات التفاضلية ، التي سبق ودرست من قبل جاكوبي ، ومن قبل ش. نيومان C.Neumann. وتحت تأثير نظرية الاشكال التفاضلية التي وضعها ريمان طورت هذه الدراسة الأخيرة بشكل واسع (انظر لاحقاً) . واظهرت الأشكال واللا متغيرات فائدتها أيضاً في بعض مجالات نظرية الأعداد ، وكذلك في دراسة المعادلات التفاضلية ، والمعادلات ذات المشتقات الجزئية . وعلاقاتها بنظرية الـزمـر وضعت موضع التثبيت من قبل العديد من المؤلفين ومنهم لي Lie وخاصة كلين Klein . الا ان هذه الاشغال حدثت في اتجاهات متفرقة ، وبواسطة الطرق الأكثر تنوعاً ، بحيث جعلت من نظرية الـلا متغيرات بناءً معقداً حيث غطيت الافكار العامة بالعديد من النتائج التفصيلية الحاصلة بفضل حسابات دقيقة في أغلب الأحيان . وفي سنة 1890 ، نجح هيلبرت ، في احد اعماله الأولى ، في استخراج القوانين الاساسية لهذه النظرية ، بشكل موجز جداً وانيق ، ساحباً بشكل خاص قاعدة غوردان على الاشكال الجبرية ذات المتغيرات المتعددة.ووضعت هذه المذكرة المهمة ، وبذات الوقت ، اسس نظرية المثل ذات الحدود المتعددة ، والتي لعبت دوراً مهماً في الجيومتريا الجبرية وفي الجبر الحديث .

الرباعيات والاعداد الفائقة التعقيد : وبعد نشر عدة اعمال اساسية حول مبادىء البصرية الجيومترية وحول الديناميك ، اتجه و . ر . هاملتن W .R . Hamilton (1805 - 1865) نحو دراسة الجبر ، فنشر سنة 1835 نظرية صارمة حول الاعداد المركبة المحددة كأزواج من اعداد حقيقية ، وجهد في توسيع هذه الفكرة ، فانتهى سنة 1843 الى نظرية الرباعيات التي وسعها في محاضراته حول الرباعيات (1853) وفي كتابه عناصر الرباعيات (1866). وتقوم الرباعيات على توسيع الحساب المتعلق بالاعداد المركبة بحيث تشمل فضاء التمثيل المسطح ، وبحيث تعطي الرباعيات ، بآنٍ واحد ، اول مثل عن جبر غير تعاوضي وغير تبادلي ، كما تعطي هذه الرباعيات، ترقيماً او تصويراً جبرياً لنظرية المتجهات . وطور هاملتن نظرية تفاضلية حول الرباعيات وطبقها على السينيماتيك او علم الحركة وعلى الديناميك وعلم الفلك ولكن امله الكثير الطموح بأن يجعل من هذه النظرية التفاضلية نوعاً من علم الحساب الشامل حمل بعض تلامذته ومنهم ب . ج تيت P . G. Tait على تأسيس جمعية من أجل

نشر الرباعيات والى القيام بنضال عنيف وعقيم ضد الطرق الأخرى في التحليل الاتجاهي والتي تكونت بذات الوقت .

وادخل و.ك. كليفورد W . K . Clifford (1845 - 1879) وهو يعمم فكرة من افكار هاملتون في سنة 1878 نمطاً آخر من الاعداد الشديدة التعقيد هي الرباعيات المزدوجة فأوضح قواعد حسابها وتنبأ بالعديد من تطبيقاتها وخاصة في الجيومتريا غير الاقليدية .

انواع الجبر : هذا الامتداد المتتالي لفكرة العدد اقترن بتوسيع في مفهوم الجبر اي في الدراسة التجريدية لقوانين التركيب المتحكمة بهذه العناصر الجديدة . ان الفكرة العامة لقانون التركيب قد تشكلت انطلاقاً من أعمال غوس حول بعض الأشكال الرباعية ، ومن نظرية المجموعات الاستبدالية ، ومن أعمال المدرسة الانكليزية حول الجبر المجرد وحول المنطق الرمزي ، والاكتشاف المتزامن للمصفوفات والحساب الجيومتري ، حساب غراسمن Grassmann، وكذلك تحقيق مفاهيم اجسام الاعداد الجبرية والمثال ، هذا الاكتشاف اقتضى اعادة صياغة مفاهيم اساسية ، كما اقتضى دراسة مختلف انماط الجبر ، وهو عمل طويل النفس انطلق به الرياضي الاميركي ب . بيرس B . Peirce (1809 - 1880) .

وانطلق ب . بيرس من دراسة الرباعيات والحساب المادي ، ثم انجز انطلاقاً من 1864 البحوث الاولى العامة حول بنية انواع الجبر ذي البعد المتناهي ، فأوضح مفاهيم ذات أهمية وخصائص أساسية متنوعة . وأكملت اعمال بيرس ، التي نشرت سنة 1870 ، ثم سنة 1881 تحت اسم (الجبر المستقيم التقارني) من قبل علماء الجبر امثال : كيلي ، وسيلفستر ، ولاغير وش . س . بيرس ، وديديكين Dedekind قبل ان يستمر بها تلامذة لي وهم : ستودي Study، شيفرز Scheffers، شور Schur ، موليان Molien ، وكارتان Cartan الذين طبقوا في هذه الدراسة طرقاً كانت مستعملة في تصنيف الزمر المستمرة . ودلت هذه البحوث التي استمرت في القرن العشرين ، أول الأمر على التنوع العظيم في البنيات الجبرية الممكنة ، كما اتاحت هذه البحوث الانطلاق بنظرية عامة ، ثم الشروع في وضع تصنيف ، ووضع اسس انطلاق اعمال علماء الجبر في القرن العشرين ، وهكذا وبفضل التطور السريع نوعاً ما انتقل الهدف الرئيسي للجبر من نظرية المعادلات الى نظرية البنيات الجبرية .

3 ـ المتوجهات والوتائر

بدايات الحساب الاتجاهي : ان مفاهيم المتجه والجمع الاتجاهي كانت موجودة ضمن قواعد تركيب وتأليف القوى والسرعات ، وهذه القواعد كانت معروفة منذ اواخر القرن السابع عشر ، وكانت بشكل اكيد معروفة في دراسة أنظمة القوى ، هذه الدراسة التي كان يقوم بها العديد من المؤلفين في بداية القرن التاسع عشر . ومع ذلك فإنه بمناسبة التمثيل الجيومتري للاعداد المركبة بُدىء بدرس العمليات الاتجاهية لأول مرة وبشكل واضح ، دون التوصل الى تحديد مفهوم المتجه بالذات تحديداً واضحاً[1]. وبعد ربع قرن من الزمن ادى نهوض الجيومتريا الحديثة والميكانيك والفيزياء الرياضية

(1) راجع بهذا الشأن دراسة ج . ايتار، الفصل القادم .

وانجاز المفهوم التجريدي لقانون التركيب ، كل ذلك ادى الى فتح الطريق امام التاويلات المتنوعة لفكرة المتوجه وللعمليات الأولية في الحساب الاتجاهي .

ان التمثيل الجيومتري للاعداد المركبة كان في اساس اعمال بللافيتيس Bellavitis التي بدأ بها انطلاقاً من سنة 1832 ، فقادته الى نظريته حول « المتكافئات » وهي اول تمثيل جامع لحساب يتناول القيم الموجهة . وهذا التمثيل هو ايضاً في اساس الطروحات التي وضعها باري دي سان فينان Barré de Saint Venant (1845) وكوشي (1847). وبالمقابل فإنّ موبيوس Möbius في كتابه « باري سانتريش كالكيول » Barycentrische Calcul (1827) وبصورة خاصه هـ . ج . غراسمان H . G . Grassmann (1809 - 1877) ، في كتابه Lineale Ausdehnungslehre (1844 ؛ طبعة 2 1878 ، طبعة جديدة 1862) باشرا بمشروع اكثر طموحاً في التحليل الجيومتري ، وبفضل الشجاعة في برنامجه ، وبفضل إصالة تصوره ، وفكره ، ولغته وبفضل ترقيماته ، وبفضل الميتافيزياء الكامنة في عمله بدا كتاب غراسمان صعب المنال . ورغم ان غوس قد قدر هوّ وموبيوس Möbius عمل غراسمان ، فإنه لم يؤثر في تقدم الرياضيات الاّ عندما قام هنكل Hankel (1867) وشليغل Schelgel (1872 - 1875) بتقديم عرض عنه أكثر وضوحاً . ان عرض غراسمان للأفكار الاساسية في الحساب الاتجاهي (حاصل داخلي، حاصل خارجي، الخ . .) هذه الأفكار امتدت فشملت الفضاءات ذات الأبعاد المتعددة ، مما اثار يومئذٍ اهتماماً قوياً ومعمراً .

وهناك اسلوب آخر في العرض مشتق مباشرة في نظرية الرباعيات ، يؤدّي الى نفس العمليات الاتجاهية التي حققها الحساب الجيومتري لغراسمان ؛ ان حدود الخط غير الموجه والخط الموجه يعود الفضل في تحديدها الى هاملتون بشكل خاص .

نهضة التحليل الاتجاهي : منذ منتصف القرن التاسع عشر انتشر استعمال المتوجهات بسرعة في مجال الميكانيك وكذلك في مجال تقدم الستاتيك في الأنظمة المستمرة وتقدم الفيزياء الرياضية المؤدية الى ادخال بعض الأبعاد الجيومترية المحددة في كل نقطة من مطلق مجال ، مثل تبدل الضغط ضمن حقل غير موجه تحدد تعريفه ، بعد ان وضعه لامي ، وتوضح بفضل هاملتون . وانطلاقاً من سنة 1870 ساعدت تأثيرات ريمان Riemann وانتشار اعمال غراسمان Grassmann على نهضة التحليل التوجيهي ذي الرموز المتمادية في دقتها والمتكيفة بمرونة وبفعالية مع دراسة العديد من مسائل الفيزياء الرياضية او الجيومتريا التفاضلية . وفي خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر بدا التقدم الاكثر أهمية في مجال التحليل التوجيهي من صنع الفيزيائيين الرياضيين امثال ستوكس Stokes وماكسويل Maxwell وهيفيسايدHeaviside وجيبس Gibbs ولورنتز Lorentz الذين رغبوا في تحديد المظاهر المتنوعة للواقع الفيزيائي فأدخلوا مفاهيم التدفق والتفارق والتداورالخ .واصطدم تأثيرهم أحياناً ، وبشكل عنيف بتأثير بعض الممثلين لمدرسة الرباعيات امثال : تيت Tait ،وماكفارلان Macfarlane وأدى تعدد الأنظمة في مجال الترقيم الى قيام العديد من المناقشات الطويلة التي اخرت في بعض البلدان ادخال الطرق التوجيهية في التعليم . وفي القرن العشرين عرف الحساب التوجهي انتشاراً واسعاً بفضل استقرار ترقيماته وبفضل التوسع في تطبيقه وبفضل النهضة السريعة التي حصلت في مجال آخر مجاور وهو الحساب الوتيري .

بدايات الحساب الوتيري : ان انتشار الحساب الوتيري والأهمية التي حصلت في العديد من قطاعات الرياضيات ، لهذه الطريقة من طرق الحساب الشكلي ، اكرر هذا الانتشار وهذه الأهمية بديا حديثي العهد وعلى كلٍ فإن العديد من مبادئه اي من مبادىء الحساب الوتيري قد انجزت بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر وشرحت في حوالي (1900) . وقد لعبت نظرية التمدد دوراً اساسياً في هذه الولادة ، كما يدل على ذلك تعبير الموتر بالذات . وهو تعبير ادخله فوات Voigt (1898) واستعاده جيبس Gibbs (1902) للدلالة على نظام الاعداد الستة المميزة للتوترات داخل جسم مطلق الشكل . وقد استخرجت القواعد الاساسية للحساب التوتري بصورة تدريجية من الدراسات حول ستاتيك الأوساط المستمرة ، هذه الدراسات التي قام بها العديد من الفيزيائيين والرياضيين من القرن التاسع عشر ابتداءً من غرين Green الى كوشي Cauchy ، ونافير Navier ، وصولاً الى كيرشهوف Krichhoff ، ونيومن Neumann وبلترامي Beltrami، وو . تومسون W . Thomson وجيبس Gibbs وفوات Voigt. والتقدم في مختلف فروع الفيزياء الرياضية دل ، حتى قبل ان تتحدد الالغوريتم وتُفسر بوضوح ، بأن الموترات تتدخل الى جانب الموجهات في اغلب قضايا الفيزياء ، وقدمت نظرية اللا متغيرات عناصر الغوريتمية ضرورية لايجاد الحساب التوتري الذي من أهدافه دراسة التحولات التي تلاقيها مكوِّنات الموترات عند التغير في أنظمة الاحداثيات ، كما من أهدافها استنتاج اللّامتغيرات منها . ان دراسة الاشكال المتعددة الخطوط ، ذات السلاسل المتعددة من المتغيرات « ذات الضغوطات المتبدلة المنسجمة » و « ذات الضغوطات المتبدلة المتعاكسة » ، تعادل دراسة الموترات (Tenseurs) وقد ساعد تأثير ريمان Riemann، على خلق التحليل التوتري . ان مفهوم الانحناء الفضائي عند نقطة معينة ، في اتجاه عنصر مسطح معين ، هذا المفهوم الذي ادخله ريمان في مذكرته في سنة 1854 حول الفرضيات الاساسية في الجيومتريا ، يتوافق مع المعطى الضمني لموتر ذي انحناء . وقد فسر هذا الحدث عند وضع الحساب التفاضلي المطلق من قبل ج.ريشي (1884) G . Ricci ؛ وتأسس ، على اثر اعمال كريستوفل Christoffel (1869)، على الدراسة المنهجية للاشكال التفاضلية الرباعية . وكشفت مذكرة شهيرة وضعها ج.ريشي واحد تلامذته ت . ليفي سيفيتا T . Levi Civita (مناهج الحساب التفاضلي المطلق ، حوليات الرياضيات ، 1901) ، عن قوة هذا التطبيق للحساب التوتري على الجيومتريا التفاضلية . وبدت فائدة هذا الحساب التوتري بشكل اكثر بروزاً عندما وجد فيه انشتاين والفيزيائيون النسبيون الاداة الرياضية الاكثر ملاءمة لأعمالهم . وبعد ذلك عرف الحساب التوتري نمواً سريعاً ودخل تدريجياً في التعليم .

4 ـ الاعمال الاولى في المنطق الرياضي

ان احدى المقدمات البارزة في القرن التاسع عشر قائمة على ان هذا القرن قد قدم ، اضافة الى الدراسة المعمقة لأسس الرياضيات ، جهوداً في تنهيج المنطق ، وهذا الجهد يعتبر مرحلة ضرورية من اجل البدهنة اي تحويل المعارف الى بديهيات ، ونحو تشكيل صيغ للرياضيات ، ونحو خلق المنطق الرمزي وخلق ما هو ابعد من الرياضيات .

وقد سبق ان قام ليبنز في القرن السابع عشر بمحاولة توسيع المنطق الكلاسيكي ومباشرة دراسة

مجمل العمليات المنطقية المتاحة للفكر ، عن طريق تحليل اشكال اللغة والفكر العلميين .

وقد اعلن ليبنز في احدى محاولاته الاولى (بحث في الفنون المتداخلة ، ليبزغ ، 1666) عن طريقة عامة بواسطتها تحول كل حقائق العقل الى نوع من الحساب ، وبذات الوقت اعلن عن نوع من اللغة او الكتابة الشاملة تقوم فيها الرموز والكلمات بقيادة العقل وتوجيهه .

هذا المشروع ذو السمة العامة الشاملة الذي وضع المبادىء الأولى لعلم البدهنة (اكسيوماتيك) ومبادىء المنطق الرمزي الحديث ، لم يشتهر الا قليلاً وإذا كان من الممكن العثور على صدى لهذه الإهتمامات في بعض الكتابات التي وضعها ج هـ . لامبير او كوندورسي ، فانه في اواسط القرن التاسع عشر فقط تم وضع الأسس الحقيقية للمنطق الرياضي .

لا شك انه منذ النصف الأول من القرن التاسع عشر ، وفي مختلف قطاعات الرياضيات برز اهتمام ملحوظ بدقته ، ومن جراء هذا برز منطق شكلي صوري . تلك هي بشكل خاص حالة التحليل الرياضي حيث بذل بولزانو وكوشي وآبل وديريكلي جهداً كبيراً في سبيل الدقة ، هذه الدقة التي أدت في النصف الثاني من القرن الى تحسيب الرياضيات عند كرونيكر ، والى نظرية مجموعات كانتور Cantor . وبذات الوقت ايضاً ادت الى تقدم نظرية الاعداد وادخال التطابق او تساوي الاشكال والى تشكيل نظرية الزمر والخطوات الأولى في نظرية اللا متغيرات ، ثم انشاء الجيرمتريا الاسقاطية ، وولادة الجيرمتريات غير الاقليدية ، وإدخال الموجهات والرباعيات (وهو اسم يطلق على بعض العبارات المعقدة المستعملة في حل العمليات الهندسية) الخ . كل ذلك مهد الطريق الى اعادة النظر في مجمل البناء الرياضي القائم على توسيع فكرة الجبر وعلى تحليل اكثر وعياً بالمبادىء وعلى تعميق لبنية الخصائص والترقيمات الجبرية . ورغم ان هذه العوامل قد بشرت ، بحكم التلاقي بتطبيق حتمي للرياضيات ، فان قلة قليلة من علماء الجبر وعت ضخامة الاصلاح المنطلق وتجرأت فواجهت القيام بعملية محاولة جريئة لتنسيق الرياضيات والمنطق . انه في بريطانيا برزت هذه الحركة بوضوح اكبر وبنجاح ظاهر . وان هي اشرقت في حدود سنة 1850 بفضل نشر الكتب الاساسية على يد مورغان وبول ، فانها أي الحركة قد ولدت قبل ربع قرن وذلك عندما ركز بيكوك Peacock وباباج Babbage وج .هرشل J . Herschel ، على الاساس المنطقي للرياضيات ، وبشكل خاص على الصفة التجريدية للعمليات التجريدية[1] .

انه في مؤلفات أوغيست دي مورغان (1806 - 1870) ، وهو رياضي ذو فكر اصيل ظهر لأول مرة وبشكل واضح جداً الاهتمام المزدوج في تقديم المنطق بشكل رياضي بعد ازاحة نير التقنيات العملياتية ثم تحليل مجمل الرموز والعمليات والقوانين الرياضية من الزاوية المنطقية (المنطق الصوري 1847 ؛ مثلثات والجبيرا مزدوجة ، 1849) . واعطى جورج بول (1815 - 1864) دفعة حاسمة لهذا التيار المزدوج في البحوث ، وذلك بواسطة كتابين اساسيين : التحليل الرياضي

(1) لقد شرع بعض الرياضيين الفرنسيين امثال آربوغاست Arbogast و سرفوا Servois و جرغون Gergonnes بشكل خاص ، في بداية القرن التاسع عشر في بذل جهد مفيد في هذا السبيل وذلك بتحديد بعض الخصائص العملياتية ، ومع ادخال الاساليب المتنوعة في الحساب الرمزي . ويستحق الاشارة هنا ما قدمه بولزانوا Bolzano (ويسن شافت سليهر ، 1837) .

للمنطق . . . (1847) ، ثم قوانين الفكر (1854) ، وهذان الكتابان جعلا من بول خالق المنطق الرمزي الحديث .

« كتب يقول في مقدمة قوانين الفكر : ان الغرض من هذا الكتاب هو دراسة القوانين الاساسية لعمليات الفكر التي بواسطتها يتم التحليل العقلي ، ثم التعبير عنها بلغة الرمز الحسابي . وعلى هذا الاساس يبني علم المنطق ويوضع له طريقه حتى يجعل من هذا العلم اساس منهجية عامة من أجل تطبيق عقيدة رياضية في الاحتمالات ؛ وأخيراً من أجل الاستخلاص من العناصر المتنوعة المتجمعة بخلال هذه الاستقصاءات ، بعض المعلومات المحتملة حول طبيعة وحول تكوين الفكر البشري » .

من أجل هذه الغاية قام بول الذي عمل ، قبل استعمال الحروف كرموز ، على المجموعات ، بقصر المنطق على الحساب الافتراضي وعلى الجبر البوليني ، وهو نمط من الجبر البسيط السهل الاستعمال المنقول تماماً عن النموذج الكلاسيكي . وتشكلت تحت تأثير بول مدرسة منطق رمزي حضرت من أجل توحيد المنطق والرياضيات بشكل تدريجي . في حين عمل مورغان (في سنة 1858 - 1860) ثم و . س . جيفونس W . S . Jevons (1864) على اشاعة واستكمال مبادىء الجبر البوليني ، وقام المنطقي الاميركي ش . س . بيرس (1839 - 1914) بتوجيه الرمزية في « جبر المنطق » في طريق اكثر ملاءمة للتطبيقات الرياضية ، وزيادة على الكتب الضخمة التأليفية التي وضعها إ. شرودر E . Schroder (الجبرا دي لوجيك، 1877، وكتاب دراسات في الجبر المنطقي، ثلاث مجلدات ، 1890) يتوجب ان نشير الى موسوعية والى المواهب المنطقية الاكيدة ،عند هـ .هنكل H . Hankel (1839 - 1873) الذي اعلن عن « مبدأ الدوام » المهم في القوانين الصورية للحساب ، هذا المبدأ الذي صرح عنه سابقاً بيكوك Peacock

وفي سلسلة من الكتب (1879 ; 1884 ; 1893 - 1903) حول اسس الحساب حلل ف . ل . غوتلوب فريج F . L . Gottlob Frege (1848 - 1925) مفاهيم المنطق وادخل بشكل خاص متغيرات تناسبية إلى جانب المتغيرات الكلاسيكية ، وحاول ان ينقل مجمل الخصائص الحسابية بواسطة « كتابة المفاهيم » (Begriffsschrift) . وتحقق تأثيره المتقلص مؤقتاً نتيجة تعقيد رمزيته ، بشكل خصب في القرن العشرين من خلال كتاب ب . روسل B . Russell وا . ن وايتهيد A . N . White-head . وبفضل معرفته بالتيارات الاحدث في مجال البحث الرياضي ، ساهم جيوسب بينو Giuseppe Peano (1858 - 1932) مساهمة فعالة في تنطيق الرياضيات . وفي سنة 1882 ، نشر عرضاً ممتازاً للحساب الجيومتري الذي وضعه موبيوس Möbius وغراسمن Grassmann . وقد قدم لهذا العرض بتمهيد حول المنطق الرمزي المستلهم من مؤلف شرودر Schroder ومن طرق الجبر والحساب الجيومتري . واتاحت له مجلة ، ريفيستا دي متماتيكا التي أسسها سنة 1891 ان يشكل مجموعة من التلامذة الاخيار هم : بورالي - فورتي Burali - Forti ، بيري Pieri ، فاكا Vacca ، فيفنتي Vivanti ، بادوا Padoa ، فانو Fano ، الخ . عاونوه في اعداد « دليل الرياضيات » (خمسة مجلدات ، تورينو، 1895 - 1905)) وهي مجموعة من المبادىء في المنطق تتضمن نتائج اساسية لمختلف فروع الرياضيات ، منقولة بلغة صياغية بفضل رمزية مبتكرة وسهلة . واذا كان تأثير نتاج ج . بينو

G . Peano قد تعطل بفعل بعض التجاوزات فقد برز في ما بعد بشكل موفق ذلك ان العديد من ترقيماته قد اعتمد في اللغة الصياغية الحاضرة والهمت اعمال بينو هيلبرت منذ كتابه « كروند لاجن درجيومتري » (1899)وكذلك عمل بـ. روسل و آ . ن . وايتهد A . N .Whitehead B . Russell الذي تسبيت « مبادئه الحسابية » (ثلاثة مجلدات، كامبردج ، 1910 - 1913) في نهضة المنطق الرمزي وما وراء الرياضيات ، كما ان اعمال فريج وبينو قد اكدت ، في اتجاهات اصيلة ، الاهمية التي اكتسبتها منذ اواخر القرن 19 اعمال المنطق الرياضي المفتتحة من قبل بول ، قبل 50 سنة .

II ـ الجيومتريات

في بداية القرن التاسع عشر، وتحت تأثيرمونج اتجه قسم من المدرسة الحديثة الفرنسية نحو دراسة مختلف فروع الجيومتريا : الخالصة او التأليفية ، التحليلية أو المتناهية الصغر . ولكن ، في عمل مونج كانت هذه المفاهيم المختلفة تتداخل فتسمح بفهم المظاهر المختلفة للمسائل المدروسة ، بذات الوقت كانت غالبية خلفائه تقصر جهودها على واحدة من وجهات النظر هذه . ومن جراء هذا الحدث ، وجهت عدة مدارس متنافسة واحياناً متخاصمة تطور التقدم نحو الجيومتريا بخلال القرن التاسع عشر . ومن فرنسا امتدت حركة التجديد الى ألمانيا والى ايطاليا اولاً ، ثم الى انكلترا والى البلدان الأخرى ، متخذة فيها أشكالاً متنوعة وعاملة بشكل مختلف على توسيع مجالات جبرية وتحليلية بآن واحد .

1 ـ نهضة الجيومتريا التأليفية

تجدد الجيومتريا الخالصة : ان تجدد الجيومتريا الخالصة او التأليفية قد برز بشكل خاص في النصف الأول من القرن التاسع عشر . وهذا التطور كان موسوماً بالنهضة السريعة للجيومتريا الاسقاطية وبالتوسع في ادخال التغيرات الجيومترية ، وأثار هذا النمو ، لدى بعض باعثيه ، الامل بتكوين علم مستقل معزول عن كل دعامة تحليلية .

ان هذه اليقظة تبدأ باعادة اكتشاف الجيومتريا الاسقاطية التي سبق ونسيت مبادئها التي وضعت سنة 1639 من قبل ديزارغ Desargues. ورغم توجه الجيومتريا الوصفية التي وضعها مونج نحو تطبيقات الاسقاط المخروطي فقد لعبت دوراً رئيسياً في هذا المجال . ان دراسة البعد المنظوري ودراسة الاستقطابية، اللتين وضعهما مونج (يراجع المجلد الثاني ، القسم الثالث)، واللتين عاد اليهما، ضمن الخط الفكري لافكاره العديد من تلامذته ، كشفت سريعا عن قوة هذه الادوات . وبناء عليه بين بريانشون Brianchon ، عن طريق الاستقطابية الاقتراح او العرض المرتبط بقاعدة السداسي الاوجه الذي وضعه باسكال Pascal سنة 1806 ، كما عالج بريانشون العديد من المسائل المتعلقة بالنظرية الاسقاطية للمخروطات (1817) وهو موضوع درسه أيضاً دوبين Dupin. وبذات الوقت مع تأثير مونج عملت كتب ل . كارنو L . Carnot على تنشيط هذا التجديد في الطرق الجيومترية . ورغم تفضيلات جرغون Gergonne للجيومتريا التحليلية بدت « حوليات الرياضيات » اداة ناشطة للربط فيما بين هذه الكتب التي كثر عددها والتي كانت تهتم بتطور الجيومتريا الخالصة .

بونسيلي واعادة اكتشاف الجيومتريا الاسقاطية : وكان لاحد خريجي مدرسة البوليتكنيك هو جان فيكتور بونسيلي Jean - Victor Poncelet (1788 - 1867) مكانة مهمة في هـذه المناقشـات . اسر في روسيا في حرب 1813 - 1814 فأعد وهو في السجن اسس اصلاح عميق لعلم الجيومتريـا . وكشفت اصالة واهمية افكاره سنة 1822 عند نشر كتابه « الخصائص الاسقاطية للرسوم » وقد قدم تصميـاً لها سنة 1820 امام اكاديمية العلوم .

وبدا نشر هذا الكتاب معلماً يدل على انشاء الجيومتريا الاسقاطية الحقة وهو دراسة للخصائص الجيومترية التي تدوم عند الاسقاط المركزي او المنـظوري وبدت طـرقه الاسـاسية قـائمة عـلى تعميم استخدام المنظور البعدي والقطاعات المسطحة ، كما هي قائمة على دراسة مختلف التحولات الجيومترية وعلى الاستعانة المنهجية بالعناصر اللانهائية وبالعناصر المثالية (الخيالية) .

وكانت هذه النقطة الاخيرة التي حققها بونسيلي بواسطة مبدأ الاستمرارية الشهير ، قد جلبت له انتقادات كوشي الذي نازعه في اسسها المنطقية ؛ وكانت الاسس الدقيقة ومجال تطبيق هذا المبدأ المنبثق فعلاً من المبدأ التحليلي المتعلق بتمديد المتساويات الجبرية هذه الأسس قد اوضحت سنة 1866 على يد شـال Chasles وجونكيير jonquières . ونذكر بشكل خاص المدخل الذي وضعه بونسيلي للنقـاط الدائرية وللنقاط اللامتناهية الخيالية وهي نقاط مشتركة بين كل الدوائر في السطح ، كما نذكر ادخال Ombilicale والمخروط الخيالي اللامتناهي المشترك بين كل الدوائر .

ورغم تحفظات المحللين عرف كتاب بونسيلي شهرة كبيرة وتكونت الجيومتريا الاسقاطيـة كفرع مستقل من الهندسة ، مزودٍ بمناهجه الخاصة . وتعمم التحول بواسطة القطبيات المتقارنة أو القطبية ، التي ادخلها بونسيلي تحت اسم الترابط . وارتدى التناظر بين النقطة والخط (او السطح) الذي يبدو فوق هذا السطح شكلاً أعم وذلك ضمن مبدأ الثنائية الذي اوضح معناه كل من بونسيلي ، وجرغون وشال وموبيوس وبلوكر .

هذه النظرية التي هي أساس النظرية الكلاسكية حول الاقطاب والمستقطبات كانت اداة اكتشاف ممتازة . ان الاستعمال الواسع الذي قام به بونسيلي للتغيرات الجيومترية مثل : الاسقاط الاسطواني او المركزي ، والتماثل ، والاستقطاب ، الخ ، من اجل رد بعض السمات الى حالات اكثر بساطة (مثلاً استخلاص خصائص المخروطات في خصـائص الدائرة) أقول ان هـذا الاستعمال أدى الى دراسـة مختلف انماط التحولات .

شتاينر ، شال والعقيدة الاسقاطية : ان الجهد الرائع الذي بذله بونسيلي ليبين أولية مناهج الجيومتريـا الخالصـة ، قد استكمـل من قبل تـلامذة متنـوعين ، رفض بعضهم اي استنجـاد ظاهـر بالتحليل ، فعمدوا الى ايجاد عقيدة مستقلة منافسة للجيومتريا التحليلية .

ان «الحساب الباريسنتريش» Barycentrische Calcul الذي وضعه آ. ف. موبيوس A.F.Mö-bius (1790 - 1868)، وان كـان تحليلياً في اساسه، الا انـه قـدم عـدداً من التجـديـدات المهمـة. والتـوجه المنهجي لـلأقسـام والسـطوح والاحجام ، سبق واقتـرحه مونج ، وهـو مستخـدم في هـذا الكتاب ، ومفهوم الرابط غير المتجانس ، والمعروف سابقاً من قبل بابوس Pappus ، والمعاد ادخاله من

قبل بريانشون Brianchon وبونسيلي مستعمل فيه ايضاً وبشكل واسع. وألح شتاينر Steiner وشال Chasles على السمة الاسقاطية فجعلا منها مفهوماً اساسياً في الجيومتريا الجديدة. وادخل موبيوس ايضاً المفهوم العام للتحول الهوموغرافي*، وقد بين شال وموبيوس Mobius بالذات ان هذا التحول يشتمل، باعتبارها حالات خاصة، على الانتقالات والمماثلات والتعاطف، وبيّنا ايضاً ان سطحين متطابقين هوموغرافيا يمكن ان يوضعا موضعاً بعدياً منظورياً.

ولكن مع شتاينر وشال تكونت بالفعل العقيدة الاسقاطية. وكان الجيومتري السويسري جاكوب شتاينر (1796 - 1863)، الذي نجح بشكل باهر في التعليم في ألمانيا، هو في أساس تقدم الاكثر اهمية فقد عمل ادخال عناصر اللامتناهي، وطريقة الاسقاطات والمقاطع، على حمل شتاينر، في كتابه «سيستماتش انتيكيلون... 1832» على تعريف وتحديد - في الفضاء الاسقاطي (وهو فضاء الجيومتريا البدائية المستكمل بالعناصر اللانهائية) - ستة اشكال اساسية مصنفة ضمن ثلاثة انواع. وبين انه بالامكان الانتقال من شكل الى شكل آخر في ذات النوع على ان يتحقق شرط يسمى شرط الاسقاطية، اعطاه شكله العام ستود Staudt (1847). وانطلاقاً من هذه الاشكال منهج شتاينر طرق الخلق الاسقاطي للرسوم وهي طرق استعملها مؤلفون كثر في حالات خصوصية. وقد حدد بالتالي إمّا بتقاطع الاشعة المتماثلة من صمتين متماثلتين وإما بشكل تماسي. وقد ساهم شال الذي سبق شتاينر حول بعض النقاط، مساهمة ناشطة في نشر هذه الطرق الموجزة والبسيطة وعمم اسلوبه واشمله تعديدات ذات مرتبة اعلى. وانجز شتاينر في ما بعد بناء منحنيات وسطوح ذات درجة عليا. وقام عدة مؤلفين، ومنهم شال وسيدويتز Seydewitz وكريمونا Cremona وشروتر Schröter بالمساهمة في هذا العمل، مع اخفائهم احياناً المساعدة الاكيدة التي قدمتها الأعمال المتقدمة في الجيومتريا التحليلية وكذلك نظرية الاشكال الجبرية ونظرية اللامتغيرات. وطورشتاينر بالطريق الجيومتري نظرية القطب في المنحنيات الجبرية، هذه النظرية التي ادخلها تحليلياً بوبيليه Bobillier وبلوكر Plücker (فرليسنجن اوبر سنتيتش جيومتري، جزءان، ليبزغ، 1867).

وبدا عمل ميشال شال (1793 - 1880) موازياً لعمل شتاينر، وساهم بشكل واضح في نهضة وفي نشر الجيومتريا الاسقاطية. فعدا عن المذكرات العديدة التي اصدرها، كتب سلسلة من المؤلفات المهمة: النظرة التاريخية...(1837)، وهو بيان رائع في تاريخ الجيومتريا، مستكمل بدراستين حول مبادىء الجيومتريا الاسقاطية، ثم كتاب الجيومتريا العليا، وكتاب القطع المخروطي حيث طبقت الطرق الجديدة في الجيومتريا التركيبية، بشكل واسع وانيق، ونشير الى استخدامه المنهجي لمبدأ الاشارات والتصورات، والى مهارته في استخدام التحولات الاكثر تنوعاً، في دراسة جيومترية خالصة للمسائل الصعبة مثل تجاذب الاجسام البيضاوية، والترابيع ذات الفتحات الذاتية ثم جيوديزيات الاجسام البيضاوية (Geodésiques de L'ellipsoïde)، والسطوح المنتظمة من الدرجة الثالثة، الخ اضافة الى طريقته الشهيرة في المطابقات.

(*) ويسمّى أيضاً تحوّل موبيوس.

ستود Staudt وبدهنة الجيومتريا الاسقاطية : ومع ذلك ، ورغم الاناقة والقوة في المناهج ، ورغم الاهمية التي ارتدتها النتائج الحاصلة ، ظلت الجيومتريا الاسقاطية تعاني بعض الصعوبات التي كانت الجيومتريا التحليلية قادرة على تجاوزها : من ذلك استعمال المفاهيم المترية في تحديد العناصر الاسقاطية ، والتبرير غير الكافي لاستخدام العناصر الخيالية ، ثم اللجوء المموه الى اسلوب الاحداثيات ، وبطء بعض التبينات . ومن اجل التغلب على هذه العقبات حاول ش . فون ستود Ch . Von . Staudt (1798 - 1867) ، ان يعيد تكوين مجمل الجيومتريا الاسقاطية مستقلة عن كل فكرة مترية (مثل الزوايا ، والمسافة الخ) ، بواسطة البديهيات المتعلقة بالموقع او بالمرتبة ، مرتبة العناصر الاساسية. في كتابه المسمى « جيومتري در لاج 1847 » ، قصر نفسه على المجال الواقعي ؛ وبعد ان عالج مسألة الاسقاطية ، حدد العلاقة اللاتوافقية والاسقاطيات والمخروطات ، وهكذا اعاد بناء قسم من الجيومتريا الاسقاطية الكلاسيكية . وفي كتابه « بيتراج زر جيومتري در لاج ، (1856 - 1860) » ، حدد العناصر الخيالية كعناصر مزدوجة في الترقية او التداخل الاهليلجي وبين ان هذه العناصر الخيالية تتلاءم مع القواعد الاساسية . وبفضل نظريته حول النافورات ادخل معاني النظام والإتجاه ، وبإقرار مبدأ وقواعد حساب الاحداثيات ، حدّد مجال الجيومتريا الاسقاطية ومجال الجيومتريا التحليلية .

وبخلال العقود التالية ، عرفت الجيومتريا الاسقاطية نجاحاً باهراً دلت عليه المنشورات والكتب مثل كتب ري Reye (1868) وكريمونا Cremona (1873) الذي ترجم إلى الفرنسية سنة 1875 الخ . وتعرض كتاب ستود لتحليلات انتقادية بالغة من قبل العديد من الجيومتريين . وعلى هذا ، وبين 1870 و 1874، ادخل كلين Klein ملاحق مهمة تدل على وجوب اضافة بديهية الاستمرار وتبين استقلالية الهندسة الاسقاطية عن بديهية المتوازيات ، وتثبت عدم تبينية قواعد المثلثات الهومولوجية التي قال بها ديزارغ Desargues وكذلك الهكساغرام الذي وضعه باسكال في الجيومتريا الاسقاطية المسطحة ، وتقيم الهندسة الاسقاطية داخل الهيكل الجيومتري ، وتطلق توسع هذا العلم ليشمل الفضاءات ذات الابعاد المتعددة ، الخ . وقدمت انواعاً أخرى من المسلمات ومنها مسلمة هـ . وينر H . Wiener المؤسسة على مسلمات الموقع والمرتبة وعلى قواعد الترتيب (المثلثات الهومولوجية المتماثلة ، وهيكسا غرام باسكال) وكذلك مسلمة أنريك Enriques الأقرب الى ستود .

الجيومتريا التعدادية : من أهداف حل مسألة البناء الجيومتري تحديد عدد الحلول . ان المسائل الكلاسيكية في بناء الدوائر قد جعل علماء الجيومتريا يألفون هذا البحث المرتبط بالتأكيد بالمسألة الجبرية مسألة الاستبعاد . الا ان دراسة هذه المسألة بدقة قلما بوشر بها الا في القرن التاسع عشر من قبل شتاينر وبلوكر وجونكيير، وذلك بمناسبة مسائل متنوعة تتعلق بتحديد المخروطات والمنحنيات الجبرية .

في سنة 1864 اقترح شال طريقة جديدة سميت طريقة المميزات . ومن شأنها معالجة المسائل من هذا النمط ثم امكانية تحديد العديد من خصائص انظمة المخروطات ، عن طريق جيومتري خالص . ونجحت تماماً هذه الطريقة المرتكزة على « مبدأ التطابق » بين عدة نقاط فوق نفس الخط ، وكان من شأن هذا المبدأ ان عمم الاسقاطية . وبذات الوقت الذي عمل فيه شال ، سعى رياضيون

آخرون في توضيح مبادىء هذه الجيومتريا التعدادية ، مستخدمينها لدراسة مسائل متنوعة . وفي حين كان هلفن Halphen وكيلي وبريل يوضحون شروط تطبيق مبدأ التوافق او التطابق كان هـ . شوبرت يطور العقيدة الجديدة في كتابه المسمى « كلكول دو ايسالندن جيومتري ، 1879» حيث استعمل بديهية مكملة هي « مبدأ حفظ الرقم » ، الذي أثار حماس البعض ومعارضة البعض الآخر بآن واحد وإذا كان العديد من الجيومتريين قد اعجبوا ببساطة الاستعمال الظاهرة ، وبعمومية وأناقة الجيومتريا التعدادية ، فان بعض المحللين امثال هيلبرت Hilbert لم يرتضوا الرجوع الى الحدث الجيومتري ولا استعمال المبادىء العامة في شروط من الصلاحية غير موضحة . والواقع ، وكما هو الحال مع زوتن Zeuthen وجيامبلّي Giambelli وسيفيري Severi، وفان در واردن Van der Waarden الذين اقروا الجيومتريا التعدادية في القرن العشرين ، فان هذه الجيومتريا لا يمكن ان تؤسس الا بواسطة أفكار مأخوذة من الجيومتريا الجبرية ، ومن التوبولوجيا ومن الجبر الحديث . فضلاً عن ذلك ان شروط تطبيقها دقيقة للغاية ، دقة معجزة بحيث انها لا تبرر الاحلام الطموحة عند مبدعيها .

مسائل متنوعة : هنالك انماط عدة من المسائل الجيومترية عرفت انتشاراً كبيراً في القرن التاسع عشر . ورغم ان العدد والتنوع في الامثلة المتخذة كانا على العموم انعكاساً لاساليب عارضة ، فان العديد من النتائج الحاصلة قد ساهمت في تقدم مختلف فروع الرياضيات . وكانت مسائل البناء القابلة للحل بواسطة المسطرة والبيكار تحتل ، منذ العصور القديمة منزلة خاصة ، رغم ان طبيعتها العميقة كانت غير موضحة بعد .

وفي سنة 1837 بين ب . ل . ونزل P . L . Wantzel ان كلّ مسألة من هذا النمط تتوافق مع معادلة يعبر عن جذرها بسلسلة متناهية من العمليات الأولية (الجمع والطرح والضرب والقسمة واستخراج الجذر التربيعي) . وتتيح نظرية الزمر، لاحقاً ، التعبير عن هذا المعيار ، بشكل اكثر سهولة . بين ونزل ان مسألتين كلاسيكيتين معروفتين منذ العصور القديمة وهما تضعيف المكعب ثم تقطيع الزاوية الى ثلاث ، لا يمكن ان تتما ، في شكلهما العام ، بواسطة المسطرة والبيكار ، ذلك ان حلهما يتطلب حل معادلة من الدرجة الثالثة . وكذلك الحال بالنسبة الى مسألة تربيع الدائرة ، وهو أمر لم يتقرر الا في سنة 1882عندما اثبت لنديمن Lindemann تسامي العدد بي π .

وهناك مسألة اخرى من ذات النمط هي مسألة قسمة الدائرة او حصر متعدد أضلاع منتظم ضمنها . وهذه المسألة ترتبط بنظرية الدالات التريغونومترية وبالحل الجبري للمعادلة $x^n - 1 = O$. ومنذ اقليدس ساد الظن بأن قيم n (اي عدد الاضلاع) التي بها يمكن البناء ، هي من عيار :

$$2^m , 2^m \times 3 , 2^m \times 5 , 2^m \times 15.$$

وجدّد غوس ، وهو يتابع طريقاً شقه فندرموند Vandermonde (راجع المجلد 2 القسم 3 ، الكتاب 1 ، الفصل 1) ، في أول مؤلف له (1796) ، جدد هذا الموضوع مبيناً امكانية رسم متعدد الاضلاع منتظم له 17 ضلعاً ضمن الدائرة . وفي كتابه « مناقشات حسابية » ، وضع نظرية المعادلة الثنائية الحدين وبين ان المسألة (حيث العدد n اول) لا يمكن ان تكون ممكنة الا اذا كان n بشكل $(2^k + 1)$ باعتبار ان K تساوي 2^n .

وترتبط بهذه المسألة البنائية بواسطة المسطرة والبيكار أنواع عدة من البناءات . ومن هذه الأنواع

الشهيرة البناء بواسطة البيكار فقط ؛ وهذا الاسلوب وضعه سنة 1672 ج . مهر G . Moher ثم عاد اليه ل . ماشيروني L . Mascheroni (في كتابه جيومتريا دل كومابسو ، 1797 ، ترجم الى الفرنسية سنة 1798) . . وبين هذا الاخير ان كل المسائل القابلة للبناء بواسطة المسطرة والبيكار يمكن بناؤها بواسطة البيكار فقط . وقد اشار بونابرت بنفسه الى عمل ماشيروني ، في المعهد في فرنسا واقترح المسألة التي سميت باسم نابليون وهي : قسمة الدائرة الى أربعة أقسام متساوية بواسطة البيكار . وبين بونسيلي (1822) وشتاينر في كتابه « دي جيومتري كونستركسن . . . برلين، 1833 » بأن كل المسائل القابلة للحل بواسطة المسطرة والبيكار ، يمكن ان تحل ايضاً أما بواسطة مسطرة وبيكار لفتحة معينة (وهو اسلوب سبق ان درسه أبو الوفا Abu'l - Wafa وكاردان Cardan وتارتاغليا Tartagliaوبنديتي ولاميرويريانشون) ، أو بواسطة مسطرة ودائرة ثابتة مرسومة فوق السطح . ويتيح استعمال مسطرة ذات طرفين متوازيين او استعمال مثلث قائم خشبي اجراء نفس البناءات . أما البناءات التي لا تستخدم فيها الا المسطرة والتي عرفت في مطلع القرن على يد ماشيروني Mascheroni وسيرفوا Servois وبريانشون Brianchon، وجرغون Gergonne ، فقد ساعدت دراستها على تقديم نظرية الخطوط المعترضة وعلى ولادة الجيومتريا الاسقاطية التي بها تتعلق هذه الابنية .

واهتمام شتاينر بالبناءات الجيومترية دفعته الى تمييز الابنية المختلفة المتعلقة بمسألة واحدة من أجل تحديد اكثرها سهولة أو اكثرها دقة (1833) . ودراسة هذه المسألة قد تمت من جديد على يد ش . وينر و ا . ليموان E . Lemoine الذي حدد ، بشكل منهجي اكثر مما هو فعال ، دالات البساطة والدقة في كل بناء خاص ، كما ابتدع كلمة جيومتروغرافيا للدلالة على هذه الطريقة (1888) .

ان دراسة المسائل المتعلقة بالمثلثات والدوائر التي سبق اليها في القرن الثامن عشر أولر Euler وولاس Wallas قد تولع بها العديد من الجيومتريين ، في بداية القرن التاسع عشر ، ابتداءً من ملفاتي وجرغون وبونسيلي وكريل وفيورباخ (1822) وصولاً ألى شتاينر. وابتداءً من سنة 1873 اوجد ليموان Lemoine وبروكار Brocard ، والعديد من تلامذتها جيومتريا مثلثاتية حقة .

هذا المجال البسيط ، ذو الكرتوغرافيا المعقدة ، سرعان ما رصع بالنقط والخطوط المستقيمة والدوائر والمنحنيات وبالقواعد ذات الاسماء الشهيرة نوعاً ما . ولكن رغم بعض التعابير الانيقة ورغم بعض البراعات في التبيين يجب الالتفات الى استعانته غالباً بسعة الاطلاع ، وبالتمويه دون مواجهة مشاكل ومسائل أساسية من الناحية الاكثر عمومية .

وخارجاً عن بعض الفروع الخاصة مثل الجيومتريا التعدادية ، ومثل نظرية التحولات التي سوف تدرس فيما بعد لم تعرف الجيومتريا التركيبية الكلاسيكية تطوراً مشهوداً له بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر حيث انصبت الجهود بشكل اساسي على اعادة النظر بمبادئها وبهيكليتها . صحيح انه في هذه اللحظة اقامت الجيومتريا التحليلية ، بعد استخدام تقدم الجبر الخطي ، نظرية منافسة للطرق الموحدة الشكل والمرتكزة على مبادىء تحليلية متينة . وتخلى العديد من الجيومتريين عن وجهة النظر الضيقة عند شتاينر وشال وستود ورفضوا التعلق بالأمل الطوباوي لجيومترية « خالصة » ومستقلة ، ولم يخشوا اللجوء الى موارد الجبر والتحليل ، من ذلك ان التجربة الطموحة للنظرية

الجيومترية الخالصة حول المتحنيات وحول السطوح الجبرية ذات المستوى العالي والمسماة بنظرية كوتر (1887) هذه التجربة قلما نجحت الاّ نجاحاً فضولياً . وبعد قرن من الخصومة الشديدة بين المفهومين المتعارضين في مجال البحث الجيومتري ، بدت الجيومتريا تركيبية ، رغم تطورها الملحوظ في أواخر القرن التاسع عشر، في تقهقر واضح ، وان هي استمرت بالاحتفاظ بمكانة ذات أهمية اولى ضمن البناء الرياضي ، وإن بقيت قيمتها التربوية والجمالية فوق النقاش الاّ ان قدرتها الايجائية بدت ناضبة . وسوف يكرس القرن العشرين تراجعها الذي عوضه تقدم الجيومتريا الجبرية الباهر .

2 ـ الجيومتريات غير الاقليدية ومسألة اسس الجيومتريا

لقد كشفت الأعمال الانتقادية التي جرت في القرن الثامن عشر ، وخاصة من قبل ساشيري saccheri ولمبير lambert(راجع مجلد 2القسم 3، الكتاب1 ، الفصل 1) من اجل تعميق معنى المسلمة الشهيرة مسلمة المتوازيات، عن وجود ثلاث طرق ممكنة: الطريقة الاولى ترتكز على فرضية تكاد تساوي المسلمة وتؤدي إلى الجيومتريا الكلاسيكية؛ والطريقتان الأخيريان ترتكزان، بشكل متناقض، على رفض هذه المسلمة من المفترض فيهما اتاحة المجال لإقامة جيومتريات غير اقليدية. وقد استنتج ساشيري Saccheri اخيراً بطلان هذه الفرضيات الأخيرة في حين ان « لامبير » الأكثر حذراً ، بيّن انها تتحقق ضمن دراسة خصائص الرسوم الموضوعة فوق كرة عادية او فوق كرة ذات شعاع خيالي . ومنذ السنوات الاخيرة في القرن الثامن عشر ، تصدى ليجندر legendre بدوره لهذه الصعوبة التي ضربت بوجودها اناقة ونقاوة البناء الجيومتري . واتاح التحليل الصبور والانتقادي وبصورة تدريجية ، تحديد مكانة ودور المسلمة الخامسة او المقترحات المعادلة لها ، مثل المعادلة بين زاويتين قائمتين ومجموع الزوايا الداخلية في المثلث. وبدت المراحل المختلفة في دراسته ضمن الطبعات المتتالية لكتابه « الجيومتريا ».

غوس ولوباتشفسكي وبوليه (Gauss, Lobatchevski, Bolyai) والهندسة الهيبربولية ـ ان الجهد الموازي الذي قام به غوس اتسم بجرأة اكبر واعمق من جهد ليجندر legendre ومنذ (1792) انكب على هذه المسألة التي أثارت اهتمام غوس طيلة حياته ، والتي لم يخصص لها أية نشرة .

وفي سنة (1799) اعلن انه يمتلك مبادىء هندسة جديدة مرتكزة على فرضية وجود عدد غير متناه من المتوازيات التي يمكن جرها على موازاة مستقيم من نقطة خارجة عنه ، وكان في هذا اول نموذج للجيومتريا غير الاقليدية سماها كلين Klein الجيومتريا الهيبربولية . وفي سنة (1816) تأكدت وجهة نظره بوضوح ، ورغم عدم دقة عرضها ، فقد اعطت قيمة لبعض افكار ف . ك . اشويكار F .K . Schweikart ، الذي اكد في سنة (1818) على التناسق المنطقي في جيومترية مستقلة عن مسلمة المتوازيات كما قدّر قيمة بعض افكار ف . آ . تورينوس F . A . Taurinus الذي طور في سنة (1825 - 1826) صيغ التريغونومتريا فوق كرة ذات شعاع وهمي

وفي الوقت بالذات الذي انهى فيه غوس انجاز نظامه ، نظام الجيومتريا غير الاقليدية حقق جيومتريان شابان مجهولان فعلاً ، يعيشان بعيداً عن المراكز العلمية الناشطة ، وهما الروسي نيكولا

لوباتشفسكي Lobatchevski (1792 - 1856) والهنغاري جانوس بوليه (1802 - 1860) نفس الاكتشاف هذا وجهدا عبثاً في نشره .

كان لوباتشفكسي استاذاً في جامعة قازان ، وعرض في سنة (1826) على زملائه اول عرض للجيومتريا الهيبربولية وسماها « الجيومتريا الوهمية » وأسس على التخلي عن مسلمة المتوازيات ، وعن فرضية ان مجموع زاوية المثلث المستقيم أقل من زاويتين قائمتين . وفي سنة 1828 اصبح لوباتشفسكي عميد الجامعة ، فعرض في مجلة محلية مبادىء جيومتريته الجديدة وكذلك تطبيقاتها المختلفة (تريغو نومتريا هيبربولية ، وجيومتريا لا متناهية الصغر ، والتحليل، إلى آخره) . ورغم أن مبادرته لم تلاق الترحيب ، فقد لاحق بإصرار جهوده وطوّر افكاره ضمن سلسلة من المذكرات نشرها من سنة 1835 إلى سنة 1838 ضمن المجلة العلمية في جامعته . وقد رغب في الوصول الى حلقة الجيومتريين الغربيين فقدم عرضين اولين ، الأول بالفرنسية (عن الجيومتريا الوهمية ، في مجلة كريل Crelle ، مجلد 17 ـ 1837) والبحث الثاني بالألمانية - Geometrische Untersuchungen Zur Theorie der Para - llelinien) برلين 1840). هذه النصوص يبدو انها لم تفهم او تقدر إلا من قبل غوس الذي لم يعلن ، مع الأسف عن موافقته عليها . وحاول لوباتشفسكي بذل جهد أخير وذلك بنشر دراسة اجمالية سماها بان جيومترية Pangeometrie (1855 ، ترجمة فرنسية 1856) ، ولكنه مات دون ان يرى الاعتراف بفضله .

وكذلك كان الحال مع خصمه الشاب جانوس بوليه الذي أعلن لأبيه فركاس بوليه، منذ 1823، انه قد ابتكر نظرية جديدة حول المتوازيات . وبعد ان انجزها نشر هذه النظرية الجديدة في ملحق متواضع(*) . . . Appendix Scientian spatii absolute ، من 28 صفحة) ضمن كتاب لوالده(1832 - 1833 , Marus Vasarhely) . ورغم اصالة عرضها بدت هذه الجيومتريا المطلقة معادلة في مبادئها للجيومتريا الهيبربولية التي قال بها غوس ولوباتشفسكي وارسل ف . بوليه عمل ابنه إلى غوس الذي عرف فائدته ، ولكنه اشار إلى انه عثر على هذه الأفكار بالذات منذ زمن بعيد . وقد عمل هذا التصريح بالأسبقية على تثبيط همة بوليه الذي رفض بعد ذلك نشر عمله .

تدخل ريمان (L'intervention de Riemann) - وعندما زال مبدعو الجيومتريا الهيبربولية الثلاثة وهم : غوس سنة 1855، ولوباتشفسكي سنة 1856 وج . بوليه سنة 1860 ، كان عملهم اصيلا تماما ولكنه بقي مجهولاً . وقد عملت مفاهيمهم التي كانت يومئذٍ غير مركزة بما فيه الكفاية ، على خلق سلسلة من المشاكل ادت دراستها الى اعادة نظر اجمالية بالبناء الهندسي الكلاسيكي .

وكانت نقطة انطلاق هذه الثورة الاطروحة الشهيرة التي وضعها برنهارد ريمان (1826 - 1866) (Ueber die Hypothesen , Welche der Geeometrie Zu Grunde liegen)التي لم تنشر الا في سنة 1868 رغم انها عرضت سنة 1854 (وترجمت الى الفرنسية سنة 1870) في هذه المداخلة ذات الأهمية العظمى ادخل ريمان فضاءات هامة جداً (انظر لاحقاً) عن طريق المعطى: مربع العنصر الخطي ds^2 وأثار بهذه المناسبة النمط الثاني من الجيومتريا غير الاقليدية التي تتطابق مع الحالة التي يكون فيها مجموع زاوية المثلث أكبر من زاويتين قائمتين وهو ، أي النمط الثاني، مرتكز في الواقع على فرضيتين

(*) Appendix scientiam spatii absolute ...

احداهما تنكر امكانية جر خط مواز لخط مستقيم انطلاقاً من نقطة خارجة عن هذا الخط والفرضية الثانية تتخلى عن فكرة المستقيم اللامتناهي . هذه الهندسة الاهليلجية البيضاوية التي ادخلها بشكل واضح كلين Klein (1871) ، هي لاول وهلة اكثر اذهالاً من جيومترية غوص Gauss ولوباتشفسكي وبوليه ، وهذا يفسر ان هؤلاء الجيومتريين لم يستبقوها رغم انها تتطابق مع واحدة من الحالات التي تنبأ بها كل من ساشيري ولامبير .

انتشار الجيومتريات غير الاقليدية : رغم ان كتابات لوباتشفسكي وبوليه وكذلك اطروحة ريمان قد بقيت حتى ذلك الحين بدون صدى ففي غضون بضع سنين، ومنذ 1866حتى سنة1871 لاقت الجيومتريات غير الاقليدية انتشاراً واسعاً وكذلك نشرت عنها تفسيرات وتبريرات كثيرة .

في سنة 1866 عمل ج . هول (J . Hoüel) على نشر اشغال لوباتشفسكي وبوليه في فرنسا . وبعد ذلك بقليل قام باتاغليني (Battaglini) وكليفورد Clifford بنفس المهمة في ايطاليا وفي انكلترا ، في حين قدم بلترامي (Beltrami) ، سنة 1868 ، سائراً على خطى ريمان تفسيراً للجيومتريا الهيبربولية ذات البعدين فوق سطح دائرٍ ذي انحناء سلبي ثابت هو الكرة الكاذبة (Pseudosphère) .

والنمو والتطور اللاحقين في مجال الجيومتريات غير الاقليدية ، يتعلقان بشكل خاص بالأعمال المخصصة بالفضاءات الوهمية الاكثر عمومية . وبهذا الشأن تبدو هذه التطورات متأثرة بنظرية الفضاءات عند ريمان وبولادة علم التوبولوجيا وكذلك بتقديم نظرية المجموعات وتطبيقاتها في مجال الفيزياء الرياضية .

ومن المسائل الاساسية التأكيد على القيمة المنطقية لهذه الجيومتريات . واستقلالية المسلمة الخامسة في مواجهة البديهيات التي سبقت (هذه المسلمة) ، وكأنها حدث سلبي ، من شأنه ، في نظر البعض جعلها موضع اعادة نظر . وبدت حجة لوباتشفسكي اكثر اقناعاً حيث استندت الى التماسك العام في مجال التريغونومتريا الهيبربولية او الى تأويل الجيومتريات غير الاقليدية ذات البعدين فوق سطوح ذات انحناء ثابت .

في سنة 1871 لاحظ كلين Kleinان هذا التمثيل لا ينطبق الا على قسم من السطح ، فقدم برهاناً حاسماً مبيناً ان الانماط الثلاثة من الهندسة يمكن تصورها على صورة الهندسة الاسقاطية بفضل التعريف الكيلي (نسبة الى كيلي Cayley) للمقاييس المرتبطة بمخروط اساسي (او مطلق) ؛ منه تشتق مميزات الجيومتريات البارابولية (الاقليدية) والهيبربولية ، والاهليلجية البيضاوية . ووسعت هذه التبريرات فيما بعد حتى شملت الفضاء ذا الابعاد الثلاثة . ونشير ايضاً الى التفسير الممتاز للجيومتريا الهيبربولية ذات البعدين الذي قدمههنري بوانكاريه H . Poincaré . بمناسبة اعماله حول الدالات (Fonctions) الفوشية .

وحتى ذلك الحين كان الرياضيون يقبلون بصراحة ما ان توضح الجيومتريا الكلاسيكية الصفات الحدسية حول فضائنا وان تصف الخصائص التي تميز الفضاء المحدد الذي هو مركز الظاهرات الفيزيائية . اما الآن فمن المهم معرفة اية جيومتريا تتطابق فعلاً مع فضائنا الفيزيائي . ولهذا كان يكفي ، من حيث المبدأ ملاحظة ما اذا كان مجموع زوايا المثلث تساوي او لا تساوي زاويتين قائمتين .

ولكن بالرغم من ان القياسات الجيوديزية والفلكية المحققة منذ « غوس » لم تتح العثور على الفرق القابل للمقياس ، فإنه لا شيء يثبت ان عمليات اكثر دقة يمكن ان توضح مثل هذه الفروقات .

وقد تأثر هلمولتز Helmholtz بآن واحد ، بافكار ريمان ، وببعض المعتقدات الفلسفية ثم ببحوثه الخاصة حول البصريات الفيزيولوجية . وبُعيد (1868) ، حاول ، من خلال مقالة مشهورة عنوانها « تاتساشن . . . » ان يقيم جيومتريا الفضاء الفيزيائي على أربع مسلمات ذات منشأ تجريبي ، متعلقة بالحركات ومعتبرة كتحولات دقيقة في منطقة من الفضاء .

وقد استطاع العثور على التعبير ds^2 الذي وضعه ريمان ، فظن انه يستطيع حصر الجيومتريا العامة الاقليدية وغير الاقليدية حول الفضاء . واوضح « كلين » هذا المفهوم بفضل نظرية الـزمـر . وفي سنة 1886 قدم لي (Lie)وهنري بوانكاريه تحسينات مهمة على نظام هلمولتز ، عن طريق النظر في المجموعات المتولدة بواسطة التحولات اللامتناهية الصغر . واكمل هيلبرت هذه النقطة في كتابه « غراند لاجن در جيومتري »(1899) .

الجيومتريا ونظرية الـزمـر : بتأثير من بونسيلي (Poncelet) والمدرسة الاسقاطية احتلت التغييرات الجيومترية مركزاً مهماً في دراسة مسائل عديدة ولم يتدخل تقييم دورها الآ في القسم الثاني من القرن على اثر الدراسة المعمقة للتحولات الاسقاطية وتطبيق اللاّمتغيرات ونظرية الـزمـر على التأويل البنيوي للبناء الجيومتري .

والتمييز الذي ادخله « بونسيلي » بين الخصائص الوصفية (او خصائص الموقع) والخصائص المترية ، يدل على جهد اول في عملية البنينة (Structuration) ، التي خفت اهميتها بفعل التقليل من أهمية الدور الحقيقي للنقاط الدورانية . وقدم لاغير (Laguerre) ، في سنة 1853 عنصراً جديداً ، وذلك حين ربط مقياس الزاوية بالعلاقة اللاتوافقية بين اضلاعها وبين مستقيمين متساويي الخصائص من منشأ واحد (مستقيمات تجتمع في ذروتها بالنقاط الدورانية) . بين كيلي Cayley (سيكس ميمر اون كنتيكي 1859)ان الخصائص المترية في رسم f هي الخصائص الاسقاطية للرسمة f′ ، المكونة من ف ومن النقاط الدورانية . وبعد ابدال هذه النقط ، المعتبرة مثل مخروط ستتكس تماسياً ، بمخروط مطلق ، حصل كيلي على مترية اسقاطية عامة ، ولكن التوجه التحليلي الخالص في بحوثه منعه من تقدير اهمية هذا المخروط . واتاح انتشار الجيومتريات غير الاقليدية ، وانتشار اعمال ريمان لبلترامي (1868) وخاصة لكلين ان يستعملا المتريات الكيلية كعنصر تحليل للبناء الجيومتري ولتأويل الجيومتريات غير الاقليدية .

وحملت المعرفة الكاملة لنظرية اللا متغيرات ، والنظرات الصائبة حول دور نظرية الـزمـر العالم فليكس كلين Felix Klein (1849 - 1925) على وضع تركيبة بنيوية واسعة جداً . فقد بين في خطبته الشهيرة الافتتاحية التي القاها سنة 1872 التي عرفت باسم برنامج ايرلنجن programme d'Erlangen مختلف النظريات الجيومترية ومختلف ادارات البحوث بواسطة زمر التحويل المطابقة لها . ولما كانت كل جيومتريا هي نظرية اللامتغيرات بالنسبة إلى زمرة تحولات خاصة، فقد بدا

التياران التركيبي والتحليلي في مجال البحث الجيومتري كطريقين متلاقيين يتيحان التوصل الى ذات الحقيقة ضمن او من خلال لغات مختلفة .

ان البنية الاجمالية للبناء الجيومتري تتوافق مع بنية زمر التحويلات : ان الجيومتريا الاقليدية هي دراسة اللامتغيرات في الزمرة المترية والجيومتريا الاسقاطية هي دراسة اللامتغيرات في الزمرة الخطية (زمرة التخاطط Collinéation) ، الخ .والتوبولوجيا هي دراسة اللامتغيرات في زمرة التحولات الدقيقة المستمرة النقطية . ان الجيومتريات المصاهرة ، والجبرية او التفاضلية رأت تحديد غرضها وحدودها ، ثم تكونت بشكل مجالات علمية مستقلة .

وقدمت نظرية الـزمر وبآن واحد تركيبة . لمجموعة البحوث الجيومترية والجيومترية الجبرية المنفذة منذ بداية القرن مع تصنيف واضح لمختلف النتائج الحاصلة ، وعرف برنامج ايرلنجن Erlangen نجاحاً باهراً ظهر في مختلف مجالات الجيومتريا وتطبيقاتها ، منذ النظريات حول طبيعة الفضاء حتى دراسة متعددات الأوجه المنتظمة (.. Vorlesungen üder das Ikosaeder كلين ،1884) ـــ علم التبلر الجيومتري ، الخ . وكان سوفوس لي (Sophus lie) خصماً لكلين في هذه الدراسة ، فاهتم بشكل خاص بـزمـر التـحولات المتتالية المتتابعة واهتم بشكل خاص بتحولات التماس التي درس مثلاً عنها بعد 1870 ،وهو التحول الشهير الذي قام به لي والذي يحول مستقيمات الفضاء العادي الى كرات .

اسس الجيومتريا : وباستثناء مسلمة المتوازيات ، كانت مبادىء الجيومتريا الاقليدية ، حتى بداية القرن التاسع عشر ، تعتبر كافية تماماً ، وغالبية الاعتراضات الموجهة الى كيفية تقديم كتاب « العناصر » ، كانت ذات طابع تعليمي اكثر مما هو منطقي .

وخلال القرن عملت مراجعة اسس التحليل على تعويد الرياضيين على الالحاح المتزايد على الدقة وقد قوي هذا الاهتمام بخلال النصف الثاني من القرن، بفضل انتشار الجيومتريات غير الاقليدية والنظريات الريمانية مما ادى بالتالي الى تحليل دقيق لمبادىء الجيومتريا الكلاسيكية وبنيتها الاجمالية .

وعلى هذا فان بعض المسلمات المقبولة ضمناً حتى ذلك الحين قد توضحت تماماً : مسلمة الاستمرارية التي صاغها ج . كانتور Cantor وديدكين Dedekind ومسلمة ارخميدس (راجع مجلد واحد ، ص 314) التي تثبت منها ستولز (Stolz)، ومسلمات الانتظام وقد اشار اليها غوس Gausse وغراسمن Grassmannثم م . باش (Pasch) تستخدم لاثبات الاحكام الاخرى او القواعد منطقياً .

الا ان آراء مختلفة قد ظهرت حول منشأ مبادىء الجيومتريا .فبعد ريمان قام هلمولتز ينتقد التصور الكانتي للفضاء ، فأكد بأن الأحكام الاساسية في الجيومتريا هي من منشأ تجريبي ، في حين ادى ادخال الفضاءات المتنوعة والمتزايدة العمومية ، ببعض المؤلفين الى اعتبار كل جيومتريا كبناء موضوع بفعل المنطق انطلاقاً من نظام من الفرضيات ، وذلك بمعزل عن كل صورة فيزيائية او سيكولوجية . تلك كانت وجهة نظر كلين وبوانكاريهPoincaré حول القيمة الاصطلاحية للمسلمات . وفي الواقع تداخل

هذان المفهومان في اغلب الأحيان ، على الأقل فيما يتعلق بالجيومتريا البدائية. وعمل تـدخل نـظرية الـزمـر التي ابدع كلين في استخدامها ، وتأثير نظر اللامتغيرات ، وتأثير المنطق الرياضي ، ومحاولات البدهنة في الحساب ، كل ذلك وجه ايضاً الجهود المختلفة المبذولة على اثر باش (Pasch) من اجل عرض الجيومتريا بالشكل المنطقي الاكثر ارضاءً . ونذكر بعملية بدهنة الجيومتريا الاسقاطية وابرازـ من قِبَل كلين ومن قبل هيلبرت ـ الدور الخاص الـذي اعطي لقـواعد المثلثـات المتماثلة التي وضعهـا ديزارغ (Desargues) وسـداسي باسكـال (Pascal) واهتم ج . بينو . (G . Peano) الذي اعطى سنة (1888) رسالة عن الحساب الجيومتري عند غراسمـان Grassmann وعن قواعـد المنطق الاستخراجي ، اهتم بدوره بمبادىء الجيومتريا . وركز اهتمامه على طبيعة العناصر المستعملة ، وبذل جهده من أجل تحليل المسلمات وتحويلها الى مفاهيم أولية ثم تضييق ـ الى اقصى حد ـ عدد هذه المفـاهيم ، مـع مـراعـاة استقـلاليتهـا (I Principii di geometria Logicamente esposti , 1889) . وسـاهم تلامـذة بحماس في هـذه البدهنـة للجيومتـريا ، وكـان بينهم م . بيري (Pieri) وكـذلـك ش . فيرونيز (C . Veronese) الذي وضع اول جيومتريا غير ارخميدية (1891) .

وفي سنـة 1899 قدم دايفيـد هيلبرت (1862 - 1943) في كتـابه « غـراندلاجن درجيـومتري » (Grundlagen der Geometrie) تركيباً جيداً للنتائج السابقة وكذلك عرضاً لبحوثـه الخاصـة حول اسس الجيومتريا .

وتفادى هيلبرت اي رجوع إلى صور خاصة محددة ، واكتفى بادخال « ثلاثة نظم للاشياء» التي سماها نقط، ومستقيمات وسطوح . هذه الاشياء ذات الـطبيعة المبهمـة أرضت بعض العلاقـات ، معبراً عنها بواحد وعشرين مسلمة ، صُنفت ضمن خمس مجموعات : انتماء (8) ، رتبة او سلك (4) معـادلة او موافقة (6) ، مسلمة حول المتوازيات ، واستمرارية (2). وحرص هيلبرت بشكل خاص على استقلالية وعلى عدم تناقض هذه المسلمات فرغب بأن تكون اساساً كافياً من أجـل اعادة تكوين البناء الجيومتري ، فقـط بواسطـة قواعد المنطق والحساب ، وكل من هذه النتـائج الحـاصلة كانت قابلة للترجمة الحرة اما باللغة الجيومترية التقليدية واما بشكل تحليلي .

وبواسطة هذا العرض النادر الوضوح والذي عرف نجاحاً باهـراً كان هيلبـرت ملهم المدرسـة التبديهية ، في القرن العشرين . ولكن ضخامة العمل المحقق كانت بحيث لم يكن بـالامكـان لأول وهلة رؤية المصاعب المحلولة. ففي حين ادخل هيلبرت ، على الطبعات المتالية لكتابة غرانـد لاجن (1899 , 1903 , 1909 ، الخ) تصحيحات على العرض الاساسي ، عمل العـديد من الـرياضيـين بدورهم في سبيل هذا الجهد التبديهي الذي تطور بخلال القرن العشرين .

3 ـ تجدد الجيومتريا التحليلية

امام هذا النهوض الرائع في الجيومتريا التركيبيـة ، عرفت الجيومتريا التحليلية ايضاً توسعاً بارزاً ، وسم على التوالي بطابع المدرسة الفرنسية ، وبالدور المسيطر لبلوكر Plücker ، وبتدخل الجبر الخطي ، وبادخال الجيومتريا المنتظمة والفضاءات المتعددة الاحجام ، ونهوض موازٍ في الجيومتـريات ، الجبـرية والتفاضلية .

المدرسة الفرنسية من مونج Monge الى بوبيليه Bobillier : وبتأثير من مونج تابع العديد من الجيومتريين الفرنسيين في العقود الاولى من القرن التاسع عشر تجديد المناهج والمضمون في الجيومتريا التحليلية ـ حتى ان العبارة « جيومتريا تحليلية » التي ادخلها لاكروا سنة 1797 قد استعملت لاول مرة ضمن عنوان لكتاب وضعه لوفرنسوا Lefrançois سنة (1804) . وادخال هذا العلم في برامج مدرسة بوليتكنيك ادى الى نشر كتاب «تطبيق الجبر على الجيومتريا»(1802) حيث قدم مونج وهاشيت Hachette عدداً من النتائج الجديدة حول تحول الاحداثيات وتصنيف التربيعات وكذلك سلسلة من الكتب الحديثة في الجيومتريا التحليلية السطحية (لاكروا 1798) ؛ بويسان Puissant 1801 ، لوفرنسوا Lefrançois (1801) ؛ بيوت Biot (1802) ؛ الخ) . ، وعالج العديد من الرسائل وضعها كل من : بريانشون ، وليفت ، ودوبين ، وهاشيت ، ودانديلين ، وجرغون ، وكوشي ، ولامي ، وبوبيليه ، الخ . . جميعهم عالجوا تغييرات محاور الاحداثيات ، وخصائص المنحنيات والسطوح من الدرجة الثانية والمناهج العامة في الجيومتريا التحليلية ، في حين بذل بعض المؤلفين بعض الجهود ، على مثال مونج في المحافظة على وجود تعاون وثيق بين الطرق التركيبية والتحليلية، وفي حين قام آخرون بتبيين اسبقية وجهة النظر هذه الاخيرة ، مثال ذلك جرغون الذي اكد ، بمناسبة بناء دائرة ذات تماس مع ثلاث دوائر معينة او بناء كرة ذات تماس مع أربع كرات اخرى ، اكد ان الجيومتريا التحليلية تتيح حل مسائل البناء بالشكل الامثل والابسط والأكثر أناقة .

ان « دراسة مختلف المناهج من أجل حل مسائل جيومترية » (1818) التي وضعها ج . لامي (1795 - 1870) قدمت تجديدين مهمين : الترقيم المختصر (شكل موجز لمعادلة منحن $E = 0$) ومبدأ المضاريات او المضاعفات : المنحني او السطح (= المساحة) ، $m E + m'E' = 0$ يمر بكل النقاط المشتركة بين المنحنيين أو السطحين $E = 0$ و $E' = 0$) وجهد جرغون ، ابتداءً من 1825 ان يعطي دوراً رئيسياً لمبدأ الثنائية الذي سبق ادخاله في الجيومتريا الخالصة . وكان المؤلف الاكثر اصالة هو مؤلف إ . بوبيليه E.Bobillier (1797 - 1832) الذي تابع ضمن الطريق المفتوح من قبل لامي Lamé وادخل ترقيمات قريبة جداً من الاحداثيات المثلثاتية والمربعاتية والاحداثيات المتناسقة .

التوسعات في مفهوم الاحداثيات وعمل بلوكر Plucker : ولكن بواسطة المدرسة الالمانية ارتدت هذه التوسعات في مفهوم الاحداثيات مداها الحقيقي ومعناها الكامل . ومنذ 1827 اوضح موبيوس Mobius في كتابه « باريسانتريش كلكول » وك . و. فيورباخ K . W . Feuerbach معنى واستخدام الترقيمات الجديدة التي جاء بها بوبيليه Bobillier . واوضح موبيوس ايضاً معنى العناصر المثالية التي جاء بها بونسلي، Poncele ، واعطى للاحداثيات ، معنى حسابياً خالصاً لا معنى جيومتريا .

وكان الصانع الرئيسي لتجدد المناهج في الجيومتريا التحليلية هو جوليوس بلوكر (1801 - 1868) الذي كرس اكثر من عشرين سنة من حياته لهذا العمل . وأوضح وهو يستعمل بالشكل الاوسع الترقيم الموجز وطريقة الضاربات او المضاعفات والاحداثيات المثلثاتية والمربعاتية والاحداثيات المنسجمة ، فاعطى بلوكر لمفهوم الاحداثيات معنى شديد العمومية .

ودل المجلد الاول (ايسن ، 1828)من كتابه المسمى «انا ليتيش جيومتريش. . . » انه باستعمال الترقيم المختصر والأنظمة الجديدة في الاحداثيات تستطيع الجيومتريا التحليلية ان تبعد الصعوبات في حسابات الاستبعاد والوصول الى نفس النتائج التي تحققها الجيومتريا الخالصة . وفي مذكرات له لاحقة عاد الى هذا السؤال وبين ـ وهو يتعمق في تقنية الأنظمة الجديدة للاحداثيات ـ العديد من النتائج التي توصل اليها بونسيلي عن طريق الجيومتريا الخالصة ، ان الترقيم الموجز والاحداثيات المتجانسة قد اتاحت له التوصل تحليلياً الى مبدأ الثنائية ، وان يوضح وان يعمم مفاهيم المعادلة والاحداثيات التماسية ومفهوم مرتبة المنحني ، كل هذه المفاهيم التي ادخلها موبيوس وبونسيلي . وخصص المجلد الثاني من كتاب «Entwicklungen- (1831) لهذه المسائل حيث نجد توسع مفهوم القطب ليشمل المنحنيات من المرتبة العليا ، في حين ان كتابه « نظام التحليل الجيومتري » يستعيد دراسة وتصنيف المنحنيات الجبرية ، المتروكة منذ القرن الثامن عشر ، وقد استعمل لهذه الغاية مبدأ جديد ، هو تعداد الثوابت ، مرتكزاً على الصيغ الشهيرة التي وضعها بلوكر Plucker والتي تربط بين المرتبة والطبقة وعدد مختلف انماط الغرائب الفريدة العادية (مثل النقاط المزدوجة ، ونقاط التراجع ، ومماسات الانعطاف ، والمماسات التوقفية) في منحنى من نوع معين . ان تصنيفه للمكعبات وللمربعات مستكمل وموضح في كتابه المسمى « نظرية الجبر المنعطف او المثني » حيث يلح على ضرورة ادخال العناصر اللانهائية والخيالية بنفس عنوان ومستوى العناصر الفعلية . وفي كتابه « نظام التحليل الجيومتري عند رومس » (1846) طبق الافكار والاساليب الجديدة في دراسة المساحات والمنحنيات في الفضاء .

ورغم القيمة الاكيدة في عمل بلوكر ، فقد اثار هذا العمل بعض الاعتراضات وخاصة اعتراضات شتاينر وجاكوبي. وعندما اصبح بلوكر، في سنة 1847 استاذاً للفيزياء في بون تخصص بعدها لهذه المادة ، فلم يعد الى الجيومتريا التحليلية الا في اواخر سني حياته . والتيار الجديد الذي بعثه بلوكر ، استمر بشكل خاص في المانيا وفي انكلترا .

دراسة المنحنيات والسطوح الجبرية : في حين ان بلوكر لم يستعمل المحددات ، لجأ أ . هس (1811 - 1874) الى الاكثار من استعمال هذا الترقيم وطبق ايضاً نظرية الاشكال الجبرية ونظرية اللامتغيرات من اجل تنظيم التعليلات في الجيومتريا التحليلية ، وقدم النتائج التي توصل اليها بلوكر باسلوب بسيط وانيق ، واضعاً التعادل بين نظرية المعادلات الجبرية ونظرية المنحنيات والسطوح وكذلك ترقيم الاحداثيات المتجانسة بشكلها النهائي . وأدخل استعمال « الهسيّ » وحسّن دراسة المنحنيات من الدرجة الثالثة وبعض الغرائب الفريدة وعرف كتابه حول الجيومتريا التحليلية الفضائية (1861) وكتابه حول السطح (1865) نجاحاً واسعاً جداً .

وفي بريطانيا تابع كيلي Cayley ايضاً الطريق الذي فتحه بلوكر ولكنه استعمل بشكل واسع معطيات الجبر الخطي وحملت اعماله العديدة حول تحولات الاحداثيات والتربيعات والسطوح من الدرجة الرابعة طابع عبقريته الجبرية الفذة . وقد عمل مع سالمون Salmon على تعميم صيغ بلوكر بحيث شملت المنحنيات الجبرية في الفضاء والسطوح الجبرية . نذكر ايضاً أعمال ماك كولاف Mac

Cullagh حول التربيعات ، وكتب ج . سالمون الشهيرة التي ساهمت بشكل ضخم في نشر المناهج الجديدة التي نشر عنها شيليني Chelini مقتطفات في ايطاليا . وبعد سنوات 1860 اختلط تطور الجيومتريا التحليلية تماماً بتطور الجيومتريا الجبرية فلم يعد بالامكان فصلهما . وسوف ننظم لائحة مقتصرة بأهم الأعمال التي خصصت بخلال القرن لبعض انماط المنحنيات والسطوح الجبرية .

وكانت نظرية المخروطات والتربيعات على علاقة بتقدم الجيومتريا الاسقاطية ، وكانت موضوع العديد من الأعمال التي دفعتها نحو تقدم سريع ، مع الالتزام بنموذج نظرية الاشكال التربيعية التي اعطتها اي لنظرية المخروطات اناقة اكيدة . وعلى هذا امتد تصنيف التربيعات الذي قدمه اولر (1748) وتوسعّ ، بفضل استعمال الاحداثيات المنحنية ، من قبل مونج وهاشيت (1802) ثم استكملت من قبل كوشي (1826) ومغنوس Magnus (1837) اللذين استخدما السطوح ذات النقاط المزدوجة ، ثم اكملت من قبل بلوكر الذي ادخل العرض بشكل احداثيات سداسية كما ادخل فكرة الطبقة، واخيراً وضعت تشكلها الحديث من قبل هس (1861) الذي أوضح الدور المبهم المعطى لمحدد التشكل التربيعي المقترن ، والمعطى لصغرياته من المرتبة الاولى والثانية .

ان السطوح من الدرجة الثالثة قد اجتذبت بدورها العديد من الجيومتريين ومنهم كيلي وسالمون وكريمونا وكليبش (Clebsch) وجوردان Jordan، وكلين Klein ، وبريوشي Brioschi ، و ر . ستورم R . Sturm ، وزيتن (Zeuthen) وش.سيغر C . Segre ، الخ . وبين كيلي وجود مستقيمات فوق هذه السطوح ، مستقيمات حقيقية او وهمية حدد رقمها سالمون بـ سبع وعشرين وصنف شلافلي Schlafli هذه السطوح سنداً لحقيقة هذه المستقيمات التي درس جوردان وكلين وهـ . ويبر H . Weber معادلتها من وجهة نظر نظرية الـزمر .

ونظراً لهذه الصعوبات الضمنية فقد تأخرت الدراسة العامة للسطوح من الدرجة الرابعة بشكل نسبي . وبالمقابل ان بعض الانماط الخاصة كانت موضوع العديد من الأعمال اما نظراً لخصوصياتها الجيومترية ، واما بالنسبة الى دورها في الفيزياء الرياضية : دوائري دوبين ، وسطح موجات فرنل Fresnel ، وكلها كانت موضوع العديد من البحوث ، وكذلك سطح شتاينر (1844) ، وسطح ويدل Weddle (1850)، وسطح كومر Kummer (1863). ونذكر اكتشاف نظام ثالث يتعلق بالقطع الدائري للقالب (السطوح المزدوجة التماس) والتي وضعها ايفون فيلارسو Yvon Villarceau سنة (1848) . نشير ايضاً الى ان السطوح من الدرجة الخامسة ومختلف عائلات السطوح : القابلة للتطور ، أو السطوح المنتظمة ، او السطوح المقولبة الخ ، كانت موضع العديد من الدراسات والبحوث في النصف الثاني من القرن . ودراسة السطوح المنتظمة افادت ، فضلاً عن ذلك في ادخال نظام جديد من الاحداثيات ادى الى ولادة جيومتريا حقة تتعلق بالخط المستقيم .

الجيومتريا المنتظمة : ان الجيومتريا المتعلقة بالمستقيمات او الجيومتريا المنتظمة قد لعبت دوراً مهماً سواء في مجال البصريات الجيومترية (ضمائم الاشعة الضوئية) أو في الميكانيك (أنظمة القوى) كما في الجيومتريا التركيبية والتحليلية والمتناهية الصغر .

ومع ذلك فانه في أواخر القرن الثامن عشر فقط نشر مونج الاعمال الاولى المنهجية حول أُسَر

المستقيمات المتعلقة بمعيار ثابت (المستقيمات القابلة للتطوير والسطوح المنتظمة ؛ بين 1771) و 1775) او ذات المعيارين الثابتين (كتلة متطابقة من المستقيمات ؛ 1781) وارتأى ادخال أنظمة المستقيمات ذات المعايير الثابتة الثلاثة (مركّبات المستقيمات) وذلك في دراسة بعض المعادلات ذات المشتقات الجزئية من الدرجة الاولى (معادلات مونج). ويعزى التقدم اللاحق في هذه النظرية ، بشكل اساسي الى الرياضيين الفيزيائيين . وقد اتاحت الاعمال المهمة في البصريات الجيومترية التي نشرها مالوس (1808 - 1811) ودوبين وجرغون وكيتلي وهاملتون (وهي اربع مذكرات مهمة نشرت بين 1828 و1837) ومالك كولاف وبلوكر ومندن الخ. اتاحت تعميق نظرية تطابق المستقيمات . في حين ان دراسة أنظمة القوى ، ادت الى دراسة معقدات المستقيمات ، وخاصة التركيبات الخطية (جيورجيني 1827 ؛موبيوس ؛ شال الخ) .

ان دراسة التغييرات الاسقاطية ودراسة مختلف أنظمة الاحداثيات النقاطية او التماسية في الفضاء ذي الأبعاد الثلاثة ، قد اوضحت ، وبذات الوقت مع تناظر الأدوار التي تلعبها النقط والسطوح ، ضرورة النظر الى أي خط مستقيم مرةً كأنه شعاع ترسمه نقطة ، ومرة كمحور حوله يدور سطح معين . ان اياً من الأنظمة المتعلقة بالاحداثيات المستعملة ، لا يتكيف مع هذا المفهوم الثنائي ، ولذا فكر بلوكر في تمييز كل مستقيم بناظم خاص من الاحداثيات . وبعد عدة محاولات قليلة الجدوى (1846 و 1864)، ادخل في سنة 1865 الترقيم الذي اصبح بعد ذلك كلاسيكياً ، وهو الترقيم المؤلف من ستّ احداثيات منسجمة هي . μ,γ ، λ ، l ،m ، n (وهي مركبات من سهم مؤشر $\overrightarrow{V}$ محمول فوق المستقيم ، ومن عزم V بالنسبة الى المنطلق) ، وهذه الاحداثيات مرتبطة في ما بينها بالعلاقة ثنائية الخطّية $l\lambda + m\mu + n\nu = 0$. وفي سلسلة من النشرات اللاحقة استعمل هذا الترقيم الجديد سواء في دراسة المتطابقات ، وفي دراسة مركّبات المستقيمات وفي مجمل الجيومتريا المنظمة كما في دراسة انظمة القوى . وبمعزل عن بلوكر ، تصور كيلي من جانبه ترقيماً مشابهاً سنة 1859 ، ولكن فقط بعد نشرات منافسه نشر عنها دراسة متأخرة ولكن رائعة واجمالية شاملة[1].

ان الاصالة والاناقة في هذا الترقيم الجديد قد جذبتا العديد من الرياضيين الذين تابعوا دراسة مبادىء الجيومتريا المنتظمة ، ودراسة خصائص المجموعات والمركبات العامة او الخاصة ، او استطلعوا تطبيقها على دراسة حلول بعض المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، وعلى البصريات الجيومترية وعلى الستاتيك او التحليل السهمي الاتجاهي .

وساهم اشهر علماء الجيومتريا يومئذٍ في هذا الجهد وهم كلين Klein ، كليبش Clebsch ، كومر Kummer ، باش Pasch ، وري Reye، ور . ستورم R . Sturm في المانيا ، وباتاغليني Battag-lini ، وسيغر Segre في ايطاليا ، وداربو Darboux ، وهالفن Halphen ، وكونيغ Koenigs ، في فرنسا ، وكيلي Cayley في انكلترا ، ولي Lie في النروج. وبين كلين ان الجيومتريا المنتظمة في الفضاء

(1) الواقع ان موجد الاحداثيات الأربع البلوكرية هو غاسبار مونج الذي بعد ان اعطى عنها موجزاً في سنة 1785 ، عرض لها صورة كاملة في (اوراق التحليل المطبق على الجومتريا لسنة 1795) مستخدماً اياها في حل عدة مسائل كلاسيكية في الهندسة التحليلية الاولية ، وبهذا يكون بلوكر قد استلهم من هذه الدراسة المنسية بغير وجه حق .

الاسقاطي ذي الابعاد الثلاثة E_3 يمكن ان تفسر من خلال الاحداثيات البلوكرية باعتبارها احداثيات منسجمة في فضاء ذي خمسة ابعاد E_5 ، ومجمل مستقيمات E_3 لها صورة فوق التربيع Q من E_5.
وأدت الجيومتريا المنتظمة أيضاً الى القول بأن كل منحن أو كل سطح يمكن ان يعتبر كعنصر فضائي وبالتالي إلى دراسة جيومتريا الكرات، اي جيومتريا أنظمة الدوائر، الخ .

الجيومتريات ذات الأبعاد الكثيرة (n) : بعد 1685 ارتأى « واليس » ان يوسع الجيومتريا بحيث تشمل دراسة خصائص الفضاءات ذات الأبعاد التي تزيد عن ثلاثة . ورأى دالمبير ولاغرانج ، بعد أخذ الزمن كبعد رابع ، امكانية اعتبار الميكانيك كجيومتريا ذات ابعاد اربعة . وأخذ الفيلسوف الألماني ج . ف . هربارت ، بشكل أوسع فكرة واليس ، فأكد على ضرورة اعطاء مفهوم الفضاء عمومية أكبر وأوسع ، وعدم قصر وحدّ عدد ابعادها. وتبنى غراسمان هذا المفهوم في كتابه (Ausdehnungslehre) (1844) وأقام ، انطلاقاً من هذا المفهوم مفهوم البعد المتسع ، وبواسطة رمزية تستبق تصوير الترقيمات التوجهية والتوترية ، نظاماً جريئاً في جيومتريا الفضاءات التآلفية والمترية ذات الأبعاد (n) . ولكن مؤلفه الغني والعميق جداً لم يحدث تأثيراً الا في أواخر القرن (الربع الأخير) في حين ان بعض افكاره قد استعيدت بشكل أسهل تناولاً .

وبعد 1843 ادخل كيلي ، إنما بشكل تحليلي خالص مفهوم التنوع على عدد غير محدد من الأبعاد ، وجاء تأثير حاسم من ريمان الذي قدم ، في مذكرة مشهورة له حول الفرضيات الاساسية في الجيومتريا ، وضمن خط أفكار هربارت ـ من وجهة نظر انشائية وراثية ـ مفهوم التنوع التفاضلي ذي الأبعاد (n) .

مثل هذه التشكيلة تألفت بجمع تشكيلة ذات بعد واحد مؤلفة من عناصر مكونة بذاتها من تشكيلات ذات أبعاد تساوي (n - 1) .

وساهم هلمولتز وكلين مساهمة فعالة في نشر الأفكار الريمانية ، ورغم بعض الاعتراضات فان الجيومتريات ذات الأبعاد (n) قد استخدمت بشكل واسع ، وخاصة من أجل توضيح خصائص الأشكال الجبرية او التفاضلية ذات المتغيرات التي تزيد على ثلاثة .

وفي حين كشف نيوكمب Newcomb ، وشلافلي ، وكيلن ، وليبشيتز ، وكلين الخصائص المترية في هذه الفضاءات ، فقد اهتم سيغرSegre وكستلنوفو Castelnuovo، بالمتنوعات من الدرجة الثالثة الغارقة في فضاء ذي أبعاد اربعة ، وقام كتاب آخرون بدراسة تحركية وديناميكية هذه الفضاءات ، ان القرن العشرين عرف توسعات جديدة وجريئة في مفهوم الفضاء ، فبين بالتالي خصب افكار ريمان وصحّتها .

4 ـ اصول الجيومتريا الجبرية

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر عمل تلاقي التيارات المتنوعة في البحث على تجديد مناهج دراسة المنحنيات والسطوح الجبرية عما أثار النمو السريع لمجال علم جديد هو الجيومتريا الجبرية المرتبطة بآن واحد بالجيومتريا التركيبية والتحليلية ، وبالجبر الخطي والعام وبنظريات الدالات .

تدخل نظرية الدالات : في القرن الثامن عشر اوضح ماكلورين Maclaurin مفهوم المنحني الموحد النسق . مثل هذا المنحني مكون بشكل ان الاحداثيات حول نقطته الجارية معبر عنها تبعاً لدالات جذرية في معيار قياسي معين؛ انه منحنى جبري مسطح يمتلك العدد الاقصى : (n − 1) =N (n− 2) / 2 ويمتلك نقاطاً مزدوجة متوافقة مع درجته n : مخروطي ، مكعب ذو نقطة مزدوجة ، مربع ذو ثلاث نقط مزدوجة الخ .

وأتاحت قاعدة آبيل Abel (1829) الشهيرة حول التكاملات الأبيلية [1] توضيح هذه الفكرة وذلك باعطاء كل منحنى جبري عدداً كاملاً مميزاًP ، يسمى نقصاً أو نوعاً ، ويساوي N ناقص 'N حيث 'N هو العدد الفعلي للنقاط المزدوجة ، مع الأخذ في الاعتبار احتمال وجود نقاط مفردة) . وتشكل المنحنيات المنسقة المنحنيات من النوع صفر .

وجدد ريمان Riemann المسألة بفضل ادخاله السطح ذا الوريقات m ، والمسمى سطح ريمان ، والمقرون بكل منحنى جبري مسطح غير قابل للاختزال (C) ومعادلته تساوي 0 = f (x , y) من الدرجة m عند y (1851) .

وفي مذكرة حول نظرية الدالات الابيلية (1857) بين انه بالامكان تحقيق توحيد شكل الدالة y(x) بواسطة P دالة إلى P متغيرات ، وان تكون كل المنحنيات من نفس المرتبة اي انها تستطيع ان تكون متجاوبة مع تغير مزدوج التجذر وان تمتلك هذه المنحنيات التي هي من نفس الصنف نفس السطح سطح ريمان وبالعكس . وهذا السطح يساوي توبولوجياً اسطوانة تتضمن عدداً من الثقوب مساوياً لنوع P من المنحنى C ، نوع يبدو هكذا وكأنه ثابت مزدوج الجذر (وقد اثبتت هذه الواقعة جبرياً من قبل كليبش (Clebsch) وغوردان ، واثبتت جيومترياً من قبل كريمونا وبرتيني وزيتن) هذه النتيجة المهمة المستخدمة في تصنيف التكاملات الابيلية كانت أيضاً في أساس اعمال مختلفة منها خرجت الجيومتريا الجبرية الحديثة .

وكان كليبش (Clebsch) الذي اكتشف بعد 1857 بعض تطبيقات جيومترية للدالات البيضاوية ، واحداً من الأوائل الذي طوروا عمل ريمان .
في سنة 1864 ، بين كليبش (Clebsch) ان الاحداثيات من نقطة جارية في منحنى من نوع واحد يمكن ان يعبر عنها بدالات بيضاوية في المقياس المعياري . وهكذا استطاع ان يفسر وان يوسع أو يكتشف العديد من خصائص هذه المنحنيات ؛ وبصورة خاصة درس نقاط الانعطاف Inflexion واكتشف نظرية التماس بين المكعبات التي ليس لها نقطة مزدوجة . وكتابه : « نظرية الدالات الابيلية / (1866) » والذي كتبه بالمشاركة مع غوردان ، يعتبر دليلاً على دخول نظرية الدالات في مجال الجيومتريا الجبرية .

وأكمل هنري بوانكاريه، بعد (1881) النتائج التي حصل عليها ريمان وكليبش (Clebsch) .
وقد بيّن بهذا الشأن ان الاحداثيات حول نقطة جارية فوق خط منحنٍ جبري من مطلق

---

(1) بهذا الموضوع راجع دراسة ج ايتارد J. Itard في الفصل القادم .

نوع ، يمكن ان تتوضح بواسطة دالات ذاتية الاشكال (فوشية وكلينية) في متغير واحد معقد . وقد تضمن هذا الحل لمسألة توحيد الشكل ، شكل الدالة الجبرية ، بعض الثغرات التي لم تحل الا في سنة (1912) من قبل كوب (Koebe) ومن قبل بوانكاريه (Poincaré). وطبق العديد من الرياضيين ومنهم ج . همبرت (G .Humbert) هذه النتائج في البحث عن النتائج الخاصة ، دون اهمال دراسة أكثر تفصيلاً لعائلات المنحنيات ذات الشكل القابل للتوحيد بواسطة دالات معروفة مثل الدالات فوق الاهليلجية .

التحولات المزدوجة الجذر : ان أهمية الدور الذي لعبته في الجيومتريا الاسقاطية التحولات او التغيرات المتماثلة شكلاً (الهوموغرافية) حفزت علماء الجيومتريا في القرن التاسع عشر على التطلع الى تغييرات ذات أنماط متنوعة قابلة للتطبيقات المتنوعة .

فالعكس أو القلب (Inversion) ، والذي عرفه سابقاً بابوس (Pappus) والذي يحتل مركزاً مهماً في الجيومتريا الاولية الحالية ، قد رُدَّ اليه الاعتبار من قبل كيتلي (Quetelet) . وشتاينر (Steiner) وبلافيتيس (Bellavitis) و و . طومسون (W . Thomson) الخ . وتشكلُ الخصائصُ العديدةِ والمهمةُ المقرونةُ بهذا القلبِ الجيومتريا التطابقية (Anallagmatique) . ويدخل القلب في أسرة التحولات الدائرية التي (اي الاسرة) دُرِسَت ضمن السطح من قبل موبيوس « Mobius » (نظرية كريزفرواند شافت (1855) (Kreisverwandshaft) قد وسعت بحيث شملت الفضاء من قبل ليوفيل ولا غير وداربو .

وهناك نمط آخر من التطابقات النُقطية المسطحة المتقابلة (Biunivoques) هو نمط التغيرات الرباعية ، وقد دُرِس سنة (1832) من قبل ماغنوس (Magnus) . إن هذه التغيرات التي أشار إلى بعض حالاتها الخاصة ماكلورين Maclaurin (1720) ، وبونسيليه Poncelet وشتاينر وبلوكر (Plucker) تُطابق عند كل نقطة M من السطح النقطة M′ ، وهي نقطة تلاقي المستقيمات المتحولة من M بواسطة علاقتين معينتين .

واول مَثَلٍ عن التحول المزدوج الجذر من مطلق مرتبة ، قد درس سنة (1858) من قبل دي جونكيير . de . Jonquières . ، وفي سنة 1863 عمل الجيومتري الايطالي ليفي كريمونا (1830-1903) على بناء النظرية العامة لهذه التحولات الجبرية المزدوجة الجذر والمسماة « كريمونية » ، وهو نمط أكثر عمومية في التحول التطابقي في نقط السطح ، باستثناء سلسلة من النقط الاساسية .

واتاحت اعمال قام بها بشكل خاص جيومتريون طليان (كريمونا . Cremona ، برتيني Bertini كستل نوفو Castelnuovo ، شيسيني Chisini) وانكليز (كايلي ، كليفورد) والمان (كليبش Clebsch ونوذر Nöther) تصنيف التغيرات المزدوجة الجذر في السطح ، مباشرة دراستها في الفضاء ، والنظر اليها بشكل عام كتطابقات حرفية بين متنوعتين جبريتين غارقتين في فضاء اسقاطي ذي ابعاد كثيرة العدد . في سنة (1869) بيّن نوذر Nöther ان كل تغير مزدوج الجذر يمكن ان يرد الى حاصل ضرب هوموغرافي والى تحولات أو تغيرات تربيعية . وقد وضحت نظرية الـزمـر .أهمية التحوّلات المزدوجة الجذر والتي تشكل الـزمرة الرئيسية في الجيومتريا الجبرية . وقدم انريكس Enriques

وويمان Wiman نتائج مهمة متعلقة بـالـزمـر المستمرة في التحولات الكريمونية المسطحة .

بدايات الجيومتريا الجبرية : ان دراسة فروع المنحنى الجبري بجوار نقطة مفردة ، والتي بدأ بها نيوتن ، وقد عاد اليها من جديد بويزو (Puiseux) سنة (1850)، ثم طورها ، في ضوء اعمال ريمان وكريمونا كل من لـوروث Lüroth، ونوذر Nother وهـالفن Halphen و هـ . جـ . س . سميـث H . G . S . Smith .

وبين نوذر (1871) ، عن طريق التغييرات المزدوجة التجذير ، انه بالامكان استبدال منحنيات ذات خصائص عالية المستوى بمنحنيات أخـرى لا تمتلك الا نقاطـاً مضاعفـة ذات مماسـات متميزة . وتبعاً لذلك استطاعت تعابير بلوكر ان تطبق على المنحنيات الجبرية الاكثر عمـومية . وهـذه الدراسة هي ذات ارتباط بدراسة زمـر النقـط فـوق منحنى،كما هي ذات ارتباط بالسلاسل الخطية التي أدخلها كيلي والتي بشأنها بين كل من ريمان (1857) وروش Roch (1864) قاعدة مهمة جداً . كما أدخلت ايضاً بخلال نفس الحقبة مفاهيم اخرى عديدة وجديدة : مثل المنحنيات الملحقة ومثل الأنظمة الخطية في المنحنيات المسطحة ، الخ .

وسـاعـدت المذكـرة الاستخـلاصيـة التي وضعهـا آ . بـريـل وم . نـوذر (A . Brill . et über die algebraischen Funktionen und ihre Anwendung in der Geometrie , (M . Nöther Math. Annalen (1874) مساعدة كبيرة في نشر اسس هذه الجيومتريا الجبرية الجديدة .

وبعد 1868 حاول كليبش Clebsch ان يوسع هذه الدراسات لتشمل المساحات الجبرية وأشار الى وجود ثابت ، محدد بتكامل مزدوج شبيه بنوع من المنحنى . وكشفت الأعمال اللاحقة عند نوذر وكيلي وزيتون وكستلنوفو تعقيدات المسألة واثبتت وجود نوعين مرتبطين فوق نفس السطح . واكتشفت المدرسة الايطالية وقد اذكاها كريمونا وبرتيني وك . سيرج وكـستلنوفو Castelnuovo ثم من قبل انريك Enriques وسيفيري Severi، بواسطة تأملات جيومتـرية انيقـة ، العديـد من النتائـج الجديـدة ؛ وجمعت هذه النتائج في كتاب « البحوث الهندسية حول السطوح الجبريـة » (1893) الذي وضعـه أنريك ، وهو أول عرض شامل مخصص لنظرية المساحات الجبرية[1] .

وعلى موازاة هذه الأعمال ، شقت البحوث التي قام بها ي . بيكار E . Picard ، من وجهة نظر تحليلية حول التكاملات البسيطة المرتبطة بالمساحات الجبرية (1885) والبحـوث التي قام بهـا بيكار وبينليفي Painlevé حول السطوح (المساحات) الجبرية التي تقبل المطابقات الذاتية الجذرية (1889 - 1892) فتحت الطريق الى تعاون مثمر بين المناهج التحليلية والجيومترية وضم كتاب « نظرية الدالات الجبرية ذات المتغيرين»(مجلدان ، 1897 - 1906) الـذي وضعه بيكار وسيمارت Simart، النتائج المهمة الحاصلة في هذا المجال الجديد الصعب التناول بشكل خاص حيث يقدم التحليـل الريـاضي للجيومترية الجبرية مساعدة ثمينة واحياناً غير متوقعة .

(1) وبدأت دراسة المساحة بقرب احدى نقاطها من قبل كوب Kobb (1892) واستكملت من قبل بلاك Black (1902) ، في حين ان ب . ليفي B. Levi (1897) وسيفيري عالجا هذا الموضوع بالطرق الجيومترية .

ان الجيومتريا الجبرية كعلم جديد يربط مختلف القطاعات التي كانت معزولة حتى ذلك الوقت ، قد ارتدت شكلها النهائي الذي اصبح لها في القرن العشرين ، كما عرفت يومئذٍ تطوراً سريعاً .

5 ـ الجيومتريا اللامتناهية الصغر والتفاضلية :

بخلال القرن التاسع عشر ، تابعت الجيومتريا اللامتناهية الصغر مسارها السريع الذي بدأته في القرن الماضي (راجع مجلد 2، القسم 3، الكتاب 1، الفصل1). في حين تلقت النظرية الكلاسيكية للمنحنيات وللمساحات تحسينات مهمة، أدى تطور الفروع الأخرى في الجيومترية وغيرها من المجالات التحليلية إلى تجدد تدريجي في المناهج والطرق وإلى انتشار واسع لهذا العلم الذي انتقل بخلال القرن ، من الجيومتريا اللامتناهية الصغر الكلاسيكية إلى الجيومتريا التفاضلية الحديثة . وقد طبع هذا التطور بثلاثة مؤلفات اساسية هي مؤلفات كل من مونج وغوس وريمان .

مدرسة مونج : كان غاسبار مونج ، في بداية القرن التاسع عشر ، الزعيم غير المنازع للمدرسة الجديدة ، مدرسة الجيومتريا اللامتناهية الصغر ، بواسطة تلاميذه من مدرسة بوليتكنيك وبواسطة مريديه . استمر تأثيره طيلة القرن ، مؤثراً أيضاً باستمرار في جيومتريين كبار عاشوا في الحقبة بين 1870 و 1900 امثال كلين ولي وداربو .

في حين انتشر جوهر عمل مونج بفضل الطبعات المتعددة (1807, 1809 و1850) وبفضل كتابه « تطبيق التحليل على الجيومتريا » وبفضل مؤلفات تلميذيه هاشيت ولاكروا ، تابعت البحوث المهمة في مختلف السبل التي فُتِحَتْ جديداً .

ان جدوى الاحداثيات الداخلية (شعاع المنعطف والقوس) في دراسة المنحنيات المسطحة ، ابرزها وأظهرها كارنو Carnot ، ولاكروا Lacroix وامبير Ampère .. ووضع سيزارو Césaro دراسة منهجية في أواخر القرن بعنوان (جيومتريا داخلية ، 1896) . في حين حسن لانكري Lancret نظرية المنحنيات في الفضاء (1806 - 1811) ، وتابع و . رودريك O. Rodrigues دراسة خطوط المنحنى (1815) وادخل في نظرية المساحات الصورة الكروية ، التي أصبحت بين يدي غوس اداةً فعالة تماماً .

ولكن التلميذ الأول والمباشر عند مونج في الجيومتريا اللامتناهية الصغر كان شارل دوبين Charles Dupin (1784 - 1873) والذي جمعت اعماله في كتاب « تطورات في الهندسة » (1813) وفي كتابه « تطبيقات في الهندسة وفي الميكانيك » (1822) . وبعد أن عرف ودرس « تدويرة دوبين » (1801) ، انجز أول دراسة منهجية للأنظمة الثلاثية التعامد وفي نظرية المساحات ، ادخل اعتبار الاتجاهات المتزاوجة واعتبار المؤشر ، وهو تمثيل بسيط ومسهل لتغير اشعة الانحناء في القطوعات العامودية عند نقطة ما ، وعرف أيضاً خطوط التقارب ، وطبق نتائج الهندسة اللامتناهية الصغر على بناء الطرقات وعلى دراسة استقرارية المركب وفي البصريات .

عمل غوس Gauss وامتداداته : كان غوس واعياً لضرورة تصور اوسع للجيومتريا واهتم بمختلف المسائل النظرية المطروحة في مجال علم الفلك والجيوديزيا والكرتوغرافيا ـ وخاصة بمسألة

التمثيل المتطابق لسطح فوق سطح ـ مما حدا به الى الاهتمام تماما بمبادىء نظرية السطوح . ويعتبر نشر كتابه (Disquisitiones circa generales superfities curvas) سنة 1827بداية لظهور نهج جديد بدا خصباً بشكل خاص .

ومكنه ادخال الاحداثيات المحدودبة u و v فوق سطح S ان يعبر عن مربع العنصر الخطي ds بواسطة شكل تربيعي تفاضلي : $ds^2 = E\,du^2 + 2F\,du\,dv + G\,dv^2$ (باعتبار E ,F ,G هي دالات لـ u و v) ثم القيام بدراسة معمقة للمزايا المحلية في S ، وهي مزايا تتعلق فقط بالعنصر الخطي ، وليس بواقعة ان S غارق في الفضاء الاقليدي ذي الابعاد الثلاثة . وبواسطة التمثيل الكروي بين بشكل خاص ان المنحنى الكامل في نقطة ما $1/R_1R_2$ ، يتعلق فقط بالدالات E , F , G وبمتفرعاتها ، ويبقى ثابتاً اثناء تحولات اشكال السطوح المرنة غير القابلة للتمدد .

هذه الطريقة ذات الفعالية الكبيرة والتي جددت مبادىء نظرية السطوح استعملها غوس في الدراسة النظرية للجيوديزيات والمثلثات الجيوديزية كما استعملها في بعض التطبيقات (1843- 1847 Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie) .

وفي المانيا ظهر تلامذة غوس الاوائل ، فاهتم مندن Minding بشكل خاص بالمنحنى ـ الجيوديزي (1830) كما اهتم بانطباقية سطح ما على آخر ، واهتم بالسطوح ذات المنحنى الثابت . ونشر جاكوبي نظرية غوس في تعليمه ، ثم مزجها مع بحوثه الخاصة حول الدالات الابيلية ، فنجح بشكل خاص بدمج الخطوط الجيوديزية من الشكل البيضاوي . وبين تلميذه ف . جواشيم ستال F . Joachimsthal قاعدة انيقة حول الخطوط المنحنية المسطحة في حين عمق ج . ف . غرونر J . F . Grunert وهـ . ر . بلتزر H . R . Baltzer المظاهر المتنوعة لنظرية منحنى غوس .

إن التطورات اللاحقة التي دخلت على نظرية غوس ظهرت في فرنسا تحت تأثير الفيزياء الرياضية . وانه ، بهذا الشأن ، ومن أجل تطبيقات نظرية التمدد (المطاطية) والفيزياء الرياضية ، وسع لامي Lamé استخدام الاحداثيات المنحنية فاشملها الفضاء ذي الابعاد الثلاثة (1837) وادخل بعض المعايير الثابتة (بارامتر) التفاضلية التي ظهرت أهميتها عند انتشار نظرية الثوابت في مجال الهندسة التفاضلية . ان نظرية التمدد (المطاطية) أيضاً هي في أساس اعمال بارّي دي سان فنان (1846) حول منحنيات الفضاء .

وابتداءً من سنة 1840 قامت مدرسة جديدة موسومة بالتأثير المضاعف، تأثير مونج وغوس وجاكوبي . وأخذت هذه المدرسة تنشر بحوثاً نظرية مهمة في مجلة الرياضيات الخالصة والتطبيقية عند ليوفيل . وتابع ليوفيل Liouville بنفسه بحوث غوص وجاكوبي حول المثلثات الجيوديزية ، وحول الاحداثيات الجيوديزية القطبية ، وحول التمثيل المطابق ، في حين ادخل و . بوني Bonnet . O مفهوم المنحنى« الجيوديزي » ودرس السطوح الأصغر والأنظمة الثلاثية التعامد ثم تطابقية السطوح . وكانت هذه المسألة الأخيرة هي أيضاً موضوع دراسات وانغارتن Weingarten في ألمانيا ، وبور Bour في فرنسا وكودازي Codazzi في ايطاليا .

ونشير اخيراً الى الصيغ الشهيرة حول المنحنى والى جدل المنحنيات اليسارية المكتشفة بشكل مستقل من قبل ف . فرنيت F . Frenet وج . آ.سيرت J . A . Serret سنة 1847و 1851 .

وابتداء من سنة 1850 دخلت ايطاليا دخولاً رائعاً في مجال الجيرمتريا اللامتناهية الصغر بفضل ميناردي Mainardi وبفضل مجموعة من الجيوستريين الشبان ذوي الموهبة : وهم بريوشي Brioschi وكريمونا Cremona وكودازي Codazzi الخ .

ريمان والجيومتريا التفاضلية : بذات الوقت اعطى ريمان دفعاً جديداً لبحوث الجيومتريا اللامتناهية الصغر وذلك حين وسع بشكل ضخم مجال هذا العلم وحين جدد في مبادئه .

وفي اطروحته الشهيرة حول « الفرضيات التي تستخدم كقاعدة أو اساس للجيومتريا » التي نوقشت في غوتنجن Gottingen سنة (1854) ولكنها نشرت فقط سنة 1868 ، بعد موته ، وضع ريمان Riemann أسس الجيومتريا التفاضلية الحديثة وذلك عندما باشر دراسة خصائص المتنوعات التوبولوجية ذات العدد غير المحدد من الأبعاد . وتأثر ريمان بآنٍ واحدٍ بنظرية السطوح التي قال بها غوس وبأعماله الخاصة في الفيزياء الرياضية ، فعرّف مربع المسافة بين نقطتين متقاربتين جداً من هذا النمط بواسطة شكل تربيعي ايجابي هو التالي : $\sum_{ik} a_{ik}\, dx_i\, dx_k \ (i, k = 1, 2, \ldots, n)$

وبيَّن كيف يمكن قياس انحناء هذا النوع أو النمط ، ثم اهتم بشكل خاص بأنواع المنحنى الثابت ، وأثار امكانية تأويل الجيومتريا غير الأقليدية المسطحة بواسطة الجيومتريا المتعلقة بالسطوح ذات المنحنى الثابت .

في هذه المذكرة عرض ريمان ايضاً مفهوماً آخر ثورياً . في حين ان الفضاء كان يعتبر حتى ذلك الحين ككيان قائم بذاته ، ارتأى ريمان امكانية تفاعل بين الفضاء والأجسام الغارقة فيه . هذه النظرية ، التي طورت في ما بعد من قبل هلمولتز Helmholtz وكليفورد Clifford ، سوف تجد مبررها الكامل في اعمال الفيزياء الرياضية في القرن العشرين .

وفي حين كان ريمان يبسط مبادىء الجيومتريا التفاضلية على عدد من الأبعاد أخذت افكار غراسمان حول الجيومتريا الأقليدية الأولية والمشابهة لأبعاد كثيرة تزداد شهرة ، وكذلك الطرق الرمزية المقرونة بها.. وفائدة هذه الطرق في حقل الجيومتريا التفاضلية ، برزت من خلال الشكل الجيومتري الذي اعطاه غرسمان لمسألة فاف Pfaff . ان دراسة الجيوماتريات الريمانية اقتضت تشكيل نظرية حول الأشكال التفاضلية التربيعية . وبدأ ريمان هذه الدراسة في مذكرة نشرت بعد وفاته ، وكان قد كتبها سنة 1861 حول توزيع الكهرباء في الأسطوانات . وبين 1864و 1868 بين الجيومتري الايطالي بلترامي Beltrami كيف ان نظرية اللامتغيرات التفاضلية قد اتاحت ربط مفاهيم غوس ولامي بمفهوم ريمان . وفي سنة 1869 قدم كريستوفل Christoffel وليبشيتز Lipschitz مساهمة مهمة في هذه النظرية المتعلقة بالأشكال التفاضلية الترنبيعية . وأتاحت الأعمال العديدة المنفذة في هذا السبيل وضع مناهج للتحليل السهمي التوجيهي ولأساليب الحساب التفاضلي المجرد ، وهذه هي رمزيةٌ تتلاءم بشكل خاص مع التعبير عن اللامتغيرات في الجيومتريا الريمانية .

التطورات اللاحقة : ان الانتشار المتزامن تقريباً ، حوالي 1870 للجيوماتريات غير الأقليدية ، ولنظرية المجموعات وللمفاهيم الجديدة التي وضعها ريمان وغراسمان أدت حتماً الى تجديد المناهج في الجيومتريا اللامتناهية الصغر والى توسيع مجال هذا العلم الذي تطور بشكل تدريجي نحو الجيومتريا التفاضلية الحديثة .

واستمرت المسائل المهمة المدروسة بخلال الفترة السابقة موضع بحث مستمر : دراسة السطوح ذات الانحناء الثابت (بلترامي Beltrami ، بيانكي Bianchi)السطوح الاقل (اينبر ، شوارز ، لي) الانظمة المثلثة التعامد (بوني ، ريبوكور ، داربُو) ، تطابقية السطوح وتشوهها (بلترامي ، بيانكي ، غيشار ، لي) الخ . . .

ان دور الاعتبارات التوبولوجية في الجيومتريا التفاضلية ثابت بموجب سلسلة رائعة من المذكرات (حول المنحنيات المحددة بموجب معادلة تفاضلية , 1881 ـ 1886) حيث درسه هنري بوانكاريه ، بدون تكامل سابق ، خصائص المنحنيات المتكاملة في المعادلات التفاضلية العادية وبشكل خاص طبيعة وسلوك نقاطها المنفردة .

واكثر من ذلك ربما ، طُبع تطور الجيومتريا اللاّمتناهية الصغر بخلال العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر بازدهار نظرية الزمر وتطبيقاتها اكثر من تأثير ريمان . وهذا الحدث ظاهر بشكل واضح تماماً في واحد من المؤلفات الأكثر بروزاً في تلك الحقبة ، هو مؤلَّف الجيومتري النروجي صوفوس لي Sophus lie (1842 - 1899) . وركز لي مؤلفه على دراسة وعلى تصنيف الزمر المستمرة ، زمر التحول ، وبصورة خاصة تحولات التماس . وكان لي اضافة الى مواهب الهامية جيومترية يجمع أيضاً عبقرية تحليلية باهرة . وهكذا اتاح للجيومتريا التفاضلية ان تستفيد الى حدٍ بعيد من تقدم نظرية المعادلات التفاضلية كما اتاح ذلك أيضاً أمام المشتقات الجزئية . ان جوهر اعماله قد جمعه تلميذاه فـ . انجل F. Engel و . ج . شيفرز : G . Scheffers) في مجموعة من الكتب صدرت تباعاً .

الى جانب لي Lie كانت هناك شخصيتان تسيطران على هذه الحقبة هما : الفرنسي غاستون داربو Gaston Darboux (1842 - 1917) والايطالي لوجي بيانكي (1856 - 1928) . كان داربو تلميذاً غير مباشر لمونج ولريمان ، وجمع مثل لي Lie إلى الالهام النادر حول حقيقة الفضاء ، تحكماً ثابتاً بالتقنية التحليلية . وكانت « دروسه حول النظرية العامة للمساحات » (4 مجلدات ، 1887 - 1896) تأليفاً رائعاً لما قدمه القرن التاسع عشر في مجال الجيومتريا اللاّمتناهية الصغر . وكانت اعماله الاكثر اصالة تتناول الأنظمة الثلاثية المتعامدة ، حول استخدام العناصر الخيالية ، وحول طريقة الثلاثي الأوجه المتحرك. وطبق هذه الطريقة الأخيرة على دراسة العديد من المسائل ، كما فعل مونج و ، إ . كومبيسكورE . Combescure وريبوكور Ribaucour .

وكان عمل بيانكي قريباً من عمل داربو ، سواء بتنوع المواضيع المدروسة أم بأهمية الدور الممنوح للمعادلات ذات المشتقات الجزئية أم بنوعية كتبه التعليمية وخاصة كتابه : « دروس في الجيومتريا

التفاضلية » (1893) (Lezioni di Geometria differenziale) .

ان أهمية اعمال لي وداربو وبيانكي التي لخصت ما قدمه القرن التاسع عشر من انجازات غنية في مجال الهندسة اللامتناهية الصغر ، قد اطلقت الخطوط الموجهة لتطور الجيومتريا التفاضلية في القرن العشرين ـ هذه الأهمية تدل على حيوية علم فتح تقدمه المتتالي سبلاً جديدة بدلاً من أن يضيق افقه .

6 ـ ظهور (التوبولوجيا) :

ان أهمية هذا الفرع من الرياضيات الحديثة الذي نما نمواً سريعاً في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، كان قد استشعر قبل ذلك بقرنين قبل ليبنيز (Leibniz) الذي عبر عنه تحت اسم « تحليل الوضع » أو جيومتريا الوضع ، وتتصل به بعض المسائل الشهيرة مثل مسألة « جسور سان بيترسبورغ» (اولر) ، ومسألة العُقَد (غوس ، ليستن ، تيت ، كيركمان) ومسألة تلوين خارطة الجغرافيا[1](موبيوس ، دي مورغان ، كيلي ، تيت ، آ . ب.كمبي) ، وكذلك العلاقة ديكارت ـ اولر بين اعداد الوجوه ، والأضلاع والزوايا في متعدد السطوح .

رغم ان التحليلات السابقة والمتعددة قد استعملت افكاراً طوبولوجية ، الاّ ان الطوبولوجيا كعلم لم يبدأ في الظهور الا مع كيلي (1846) ومع ليستن Listing(تأملات حول الطوبولوجيا» (1847) ومع موبيوس Möbius الذي اشار الى أول مثل عن السطح الموحد الجانب (شريط موبيوس ، 1858) . وأسس ريمان حقاً هذا العلم واعتبره كدراسة للخصائص التي لا تتغير تحت تأثير التحولات المتوافقة حرفاً بحرف المستمرة .وادخل ، بفضل « سطوح ريمان » افكاراً طوبولوجية في نظرية دالات المتغيرات المعقدة وفي كل التحليل (1857) ، ثم اوضح ريمان موضوع وأسس الطوبولوجيا المسطحة كما جلى مختلف المفاهيم الاساسية مثل مفهوم الترابط وأشار إلى اللامتغيرات المهمة مثل عدد الابعاد في رسمه أو اللامتغيرات المعروفة تحت اسم « اعداد بتي » (Betti) . وتابع العديد من تلاميذه السعي ضمن السبل المفتوحة ، فطوروا نظرية سطوح ريمان او دراسة الخصائص التوبولوجية في متعددات الأوجه . وتأثر التطور اللاحق للتوبولوجية بوجود نظرية المجموعات ، وبفضل تقدم نظرية الأعداد الصحيحة وبفضل دراسة دالات المتغيرات الحقيقة . من ذلك ان العديد من البحوث تناولت مجموعات النقاط ، وتعريف المفاهيم الأساسية للمنحني والمجال (كانتور ، جوردان ، الخ) ، وحول دراسة مجموعات المنحنيات والدالات . ونشير بشكل خاص الى أعمال جوردان وبوانكاريه و هادامار Hadamard في فرنسا ، والى اعمال كانتور وكلين وهيلبرت في ألمانيا والى أعمال بيتي واسكولي Ascoli في ايطاليا ، وميتاج ليفلر Mittage - Leffler في السويد الخ .

---

(1) تحديد عدد الألوان الضرورية لوضع خارطة جغرافية، مهما بلغت درجة تعقيدها ، بشكل يكون معه لونا منطقتين متاختين مختلفين دوماً .

الفصل الثاني

التحليل الرياضي ونظرية الاعداد

I - تطور الفيزياء الرياضية

عمل جوزيف فورييه: يمكن ان يعتبر جوزيف فورييه Joseph Fourier (1768 - 1830) كأول فيزيائي رياضي نموذجي حقاً. في دراساته حول انتشار الحرارة، والتي قام بها قبل 1807 ، والتي جمعت في دراسة قدمت لأكاديمية العلوم سنة 1811 ، ثم في كتاب شهير اسمه « النظرية التحليلية للحرارة » (1822) ، وضع قانون الانتشار المدون بالمعادلة ذات المشتقات الجزئية :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = a^2 \frac{\partial V}{\partial t}$$

من اجل استكمال هذه المعاملة قدم دالةً بواسطة سلسلة تريغونومترية سميت بعده سلسلة فورييه :

$$f(x) = a_0 + \sum_{m=1}^{m=\infty} (a_m \cos mx + b_m \sin mx)$$

وحدد فورييه في بادىء الأمر المعاملات في هذه السلسلة ناظراً إلى عدد غير متناه من المعادلات من الدرجة الأولى ذات المجهولات الكثيرة :

واستخدم طريقة ثانية فوضع المعادلات التالية :

$$a_m = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\alpha)\cos m\alpha\, d\alpha, \quad b_m = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\alpha)\sin m\alpha\, d\alpha$$

$$\text{et} \quad a_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\alpha)\, d\alpha.$$

ودون معالجة هذه المسألة بشكل دقيق جداً ، وضع فورييه Fourier النظرية التي سوف يوسعها فيما بعد ديريكلي Dirichlet (1829) . ووجدت أعمال ديريكلي حول هذه المسألة امتداداً لها في أعمال

ريمان وجورج كانتور . ولعب مجمل هذه البحوث دوراً أساسياً في تعميق المفاهيم الأساسية للتحليل . وكتب فورييه ، وهو يتكلم عن هذا العلم ، في الخطاب الافتتاحي :

« لا يمكن ان تكون هناك لغة اكثر شمولاً وأكثر بساطة ، واكثر خلواً من الأخطاء ومن الغموض ، أي اكثر أهلية للتعبير عن العلاقات اللامتغيرة بين الكائنات الطبيعية .

ان هذا العلم من هذه الناحية واسع باتساع الطبيعة . وهو يحدد كل العلاقات المحسوسة ، ويقيس الأزمنة ، والأبعاد والقوى والحرارة . ان هذا العلم الصعب يتكون ببطء . ولكنه يحتفظ بكل المبادىء المكتسبة ولو مرة واحدة . وهو ينمي ذاته ويثبتها باستمرار ، وسط الكثير من ظلالات الفكر البشري ».

نهضة الفيزياء الرياضية : ان تأثير فورييه ، وهو يمدد الدفعة العميقة التي اطلقتها اعمال لابلاس Laplace ، وتزاوج هذا التأثير مع الجهد المبذول من قبل عاملين فيزيائيين رياضيين من ذوي المكانة الكبيرة : امبير Ampère وبواسون Poisson كان حاسماً بالنسبة الى المدرسة الفرنسية وأهمية دوره كزعيم مدرسة شهد بها بروهت Prouhet الذي أشار الى التأثير العميق الذي أحدثه فورييه على شارل ستورم Charles Sturm : « كتب يقول : لقد تأثر م . ستورم تأثيراً حسناً بهذا المعلم المحترم فكان لا يتكلم عنه الاّ بانفعال . وقاد البحوث نحو نظرية الحرارة والتحليل الجبري . وانه ـ وهو يدرس خصائص بعض المعادلات التفاضلية التي عرضت في عدد كبير من المسائل الفيزيائية ـ الرياضية ـ عثر على قاعدته الشهيرة المسماة : « قاعدة المسلسلات عند ستورم »، وقد نشرها سنة (1829) ».

وانّا نجد في هذه الشهادة مثلاً نموذجياً عن التفاعلات بين الرياضيات التطبيقية والرياضيات الخالصة التي بدت فيما بعد كثيرة العدد كثيرةالخصوبة . وتحت تأثير التقدم الموازي في التحليل الرياضي وتحت تأثير مختلف فروع الفيزياء النظرية تدخلت الآلة الرياضية في هذا المجال بشكل دائم التوسع ، وبشكل أعمق في كل المجالات الفيزيائية . هذه النهضة في الفيزياء الرياضيةالتي انطلقت في القرن الثامن عشر من خلال ولادة الميكانيك التحليلي ومن خلال الهيدروديناميك النظري ومن خلال تقدم الميكانيك السماوي ، هذه النهضة ظهرت أيضاً في مجالات الكهرباء والمغناطيسية والكهرامغناطيسية كما ظهرت في مجال علم البصريات وعلم الشعريات وعلم الترموديناميك .

عديدون هم الرياضيون الذي عملوا في القرن التاسع عشر على البحث عن كل الهامهم أو عن جزء من الهامهم في مسائل ذات طبيعة فيزيائية . ودون الرغبة في وضع بيان تفاضلي نذكر بعضاً من المهرة البارزين في هذا المجال . في فرنسا ، الى جانب لابلاس وفورييه وبواسون وامبير وكوشي يجب ذكر لامي ، وباري دي سان فينان وهنري بوانكاريه . وفي انكلترا ، يذكر جورج غرين ، وج . ج ستوك ، واللورد رايلي، ووليم طومسون (لورد كلفن) وماكسويل Maxwell . وفي ألمانيا يذكر غوس وبلوكر وكلوزيوس وكيرشهوف وهلمهولتز وفي اميركا يذكر ج . و . هيل وس . نيوكومب وج . و . جيبس . وفي النمسا اسم ل . بولتزمان . وفي البلدان المنخفضة . هـ . أ . لورنز .

II ـ تجدد التحليل الرياضي

الأعمال الأولى التي قام بها كوشي في مجال التحليل : ولد اوغسطين كوشي Augustin Cauchy سنة 1789 ، ودخل المدرسة بوليتكنيك سنة (1805) حيث تتلمذ على بواسون وامبير وهاشيت وبروني Prony . وتخرج مهندساً مدنياً (جسور وطرقات وعمل حتى سنة 1815) ، ثم نال الشهرة بفضل مذكراته حول الجيومتريا والجبر . ولكن تأثيره كان حاسماً بشكل خاص في مجال التحليل ، وفي التطبيقات على علم البصريات التأرجحية وعلم الفلك . وفي سنة 1815 عين استاذاً في مدرسة بوليتكنيك . وبعد ذلك بقليل علم ايضاً في السوربون وفي كوليج دي فرانس . ورفض يمين الولاء للحكومة الجديدة ، فنفى نفسه سنة 1830 الى تورينو ثم الى براغ . وبعد عودته الى فرنسا سنة 1838 ، استعاد في ظل الامبراطورية كرسيه في السوربون . ومات سنة 1857 .

وكانت أولى اعماله في التحليل تتعلق في التكامليات المحددة المضاعفة ، وهي طريقة تحليلية استعملها كثيراً لابلاس وفوريه وبواسون . وكان أول من لاحظ فيها أهمية نظام التكامل عندما تكون الدالة الواجب استكمالها قد أصبحت لامتناهية في نقط داخلة في مجال التكامل والدمج . وكان لهذا الاكتشاف أن يلعب دوراً رئيسياً في توجيه بحوثه .

وبشكل خاص اضطر الى العودة الى التعريف القديم للتكامل باعتباره مجموعاً لجزيئات لا متناهية الصغر ، باعتباره مفهوماً من مفاهيم علماء الرياضيات من القرن السابع عشر السابقين على ليبنيز Leibniz . وطيلة القرن الثامن عشر سيطر مفهوم ليبنيز حيث لعب الابتدائي أو المتكامل اللامحدود دوراً أساسياً . الا ان أولر Euler كان يستعمل أحياناً ، لحاجات الحساب الطرق القديمة بعد تحسينها من قبله .

مفاهيم الدالة ومفاهيم الاستمرارية : وللوصول الى مفهوم المتكامل المحدد ، تخلى كوشي ـ بعد ان استنار بمناقشات القرن السابق حول مسألة الأوتار المرتجة وبأعمال فوريه ـ تخلى فيما يتعلق بالاستمرارية عن أفكار سابقيه المولعين بديمومة الالغورتمية التي تتيح استنتاج قيمة الدالة انطلاقاً من قيمة المتغير . واعلن في كتابه « التحليل الجبري » لسنة 1821 ما يلي :

« عندما تكون الكميات المتغيرة مرتبطة تماماً فيما بينها بحيث انه اذا كانت قيمة احداها معينة ، امكن استنتاج القيم بالنسبة الى كل الباقيات ، من هذه القيمة الأولى ، عندها يمكن تصور هذه القيم المختلفة وقد عبر عنها عادة بواسطة احداها التي تسمى « المتغير المستقل » . أما الكميات الأخرى المعبر عنها بواسطة المتغير المستقل فتسمى دالات هذا المتغير . وبحسب تعبير كوشي في ذلك التاريخ ، تعني كلمة كمية عدداً صحيحاً جذرياً أو غير جذري ايجابياً أو سلبياً .

وقد سبق في سنة 1797 ، للاكروا Lacroix ان اعطى تعريفاً مماثلاً إنما أوسع بشكل واضح : « كل كمية تتعلق قيمتها بكمية أخرى او بعدة كميات أخرى تسمى دالة لهذه الأخيرة (اي تابعة) سواء عرف أو جهل نوع العملية الواجبة الاجراء للوصول الى الأولى من خلال الكميات الأخيرة » . وأضاف لكي يوضح فكرته : « ان جذر مطلق معادلة من الدرجة الخامسة مثلاً ، والذي لا يمكن

وضع تعبير له في الوضع الحاضر للجبر ، يبقى على كل حال تابعاً (دالة) للمُعامِلات في هذه المعادلة ، لان قيمته تتعلق ، بقيمة المعاملات » .

ونشير عابرين الى الأهمية الكبرى التعليمية التي ارتداها عمل س . ف . لاكروا (يراجع المجلّد الثاني) ؛ لقد مارس لاكروا ـ من خلال كتبه الأولية العديدة ، وخاصة من خلال كتابه « حول الحساب التفاضلي وحساب التكامل » (1797 - 1799 ؛ ط 2 ، 1810 - 1819)ـ مارس تأثيراً ضخماً ليس في فرنسا فقط وفي أوروبا القارية ، بل أيضاً في انكلترا حيث قامت المدرسة الشابة ـ التي ناهضت بواسطة ر . ودهوس R . Woodhouse ، وج . بيكوك G . Peacock ، وش . باباج ch . Babbage وجون هرشل John . Herschel ـ ضد التحكم العقيم للتراث النيوتني وانقلبت الى التقنيات والى ترقيمات ليبنيز Leibniz ، تفتش عن عقيدتها في كتبه .

ان التوسع الاقصى لتعريف مفهوم الدالة العددية قد حققه ديريكلي Dirichlet بمناسبة اعماله حول سلسلات فوربيه (مجلة كريل ، مجلد 4 . 1829؛ مرجع الفيزياء ، مجلد 1 , 1837). وبقي هذا التعريف قائماً حتى الآن . وكما فعل ب . بولزانو B . Bolzano (رين اناليز بويس . . . 1817) وربما بالاستقلال عنه ، اعتمد كوشي تعريفاً جديداً لاستمرارية الدالات :

« نفترض $f(x)$ دالة للمتغير (x) ونفترض انه ، بالنسبة لكل قيمة من (x) متوسطة بين حدين ، ان هذه الدالة لها دائماً قيمة وحيدة ومحددة . واذا انطلقنا من قيمة لـ(x) واقعة بين هذين الحدين ، يعطى المتغير (x) تزايداً متناهي الصغر ، عندها تتلقى الدالة ذاتها كتزايد ، الفرق التالي $f(x+a)-f(x)$ الذي يتعلق بذات الوقت بالقيمة الجديدة a وبقيمة (x). بعد هذا تصبح الدالة $f(x)$ ، بين الحدين المخصصين للمتغير (x) ، دالة مستمرة لهذا المتغير ، اذا كانت ـ لكل قيمة من قيم (x) وسيطة بين هذين الحدين ـ القيمة العددية [نقول في أيامنا القيمة المطلقة أو القياسية] للفرق $f(x+a)-f(x)$ تنقص نقصاناً غير محدود مع قيمة a. ويقول آخر ان الدالة $f(x)$ تبقى مستمرة بالنسبة الى (x) بين الحدين المعلومين اذا حصل ، بين هذين الحدين تزايد متناهي الصغر في المتغير ، وهذا التغير يحدث دائماً تزايداً لا متناهي الصغر في الدالة نفسها » .

المتكاملات المحددة : في كتاب يعود لسنة 1823 ، « مختصر دروس في الحساب اللامتناهي الصغر » يحدد كوشي $\int_{x_0}^{X} f(x)\,dx$ كحد له :

$$S=(x_1-x_0)f(x_0)+(x_2-x_1)f(x_1)+\ldots+(X-x_{n-1})f(x_{n-1})$$

حيث أنّ الدالة $f(x)$ هي مستمرّة بين x_0 وX مع $x_0 < x_1 < \ldots < x_{n-1} < X$ ، عندما تكون القيم العددية للعناصر (x_1-x_0) ، الخ . . تنزع نحو الصفر .

هذا التعريف الجديد للمتكامل سوف يكون شديد الخصب . وقد وسعه كوشي فاشمله بعض حالات الاستمرارية ، كما أن ريمان وسعه أكثر (Ueber die Darstellbarkeit einer Funktion durch eine trigonometrische Reihe , Göttingen , 1854) وهو تلميذ ديريكلي في هذا الشأن . وفي سنة 1875 اعطى داربو النظرية « متكامل ريمان » مظهرها النهائي تقريباً . فيما قدم توسيعان لاحقان

لفكرة المتكامل المحدد من قبل ستيليجس Stieltjes (1894)ومن قبل هنري ليبيغ Henri Lebesgue(1902).

السلاسل : مع ذلك وبتأثير من تعاليم لاغرنج ، وبصورة جزئية كردة فعل ضده، اهتمّ كوشي بالسلاسل الكاملة ، وأدخل ، كما فعل « غوس » بالنسبة الى السلسلة الجيومترية العالية ، ادخل دقة اكبر ، في مجال كان سابقوه قد استرسلوا بشأنه الى قوة الالغوريتم ، فسمحوا لانفسهم بحرية اكبر.

كتب في سنة 1821 يقول: «أما فيما خص المناهج ، فقد سعيت الى اعطائها كل الدقة المطلوبة في الجيومترية ، بحيث لا الجأ اطلاقاً الى الحجج المستمدة من عمومية الجبر . ان أسباب هذا الصنف ، وان كانت مقبولة عموماً ، وخاصة عند الانتقال من السلاسل الملتقية الى السلاسل المختلفة المتفارقة ، وعند الانتقال من الكميات الحقيقية الى التعابير الخيالية ، ان الاسباب المذكورة لا يمكن ان تعتبر ، في نظري ، الا كحوافز من شأنها التحسس احياناً بالحقيقة ، الا انها تتفق قليلاً مع الحقيقة الواقعية الممدوحة كثيراً في العلوم الرياضية . ومن الواجب الملاحظة أيضاً ان هذه الأسباب تساعد على اعطاء الصيغ الجبرية امتداداً غير محدود ، في حين انه ، في الواقع ، ان غالبية هذه الصيغ تتواجد بصورة فريدة ، في ظل بعض الظروف ، وبالنسبة الى بعض قيم الكميات الموجودة فيها . . . وهكذا وقبل اجراء جمع أية سلسلة ، توجب عليّ ان اتفحص في أية حالات يمكن جمع هذه السلاسل ، أو بتعبير آخر ، ما هي الظروف في تلاقيها ؛ وقد قررت بهذا الشأن ، قواعد عامة بدت لي أنها تستحق بعض الانتباه ».

وعرف كوشي بدقة تلاقي السلاسل ،ووضع المعايير العامة لها ، وكذلك المعايرين الاكثر دقة انما العمليين ، بصورة خاصة فيما يتعلق بالسلاسل الكاملة المسماة احداها سلسلة «المميز الذي استعملها في حالة خاصة والسلسلة المسماة سلسلة كوشي . ونذكر بشكل خاص المعيار العام جداً المسمى في أيامنا « متابعات كوشي » ، والذي سوف يكون رئيسياً في مقبل تطور الرياضيات :

ولكي تكون السلسلة ملتقية ، يتوجب أولاً ان يكون التعبير العام U_n متناقصاً باستمرار في الوقت الذي يتزايد فيه n ؛ ولكن هذا الشرط لا يكفي ، ويتوجب ايضاً ، بالنسبة الى القيم المتنازلة من n ، ان تكون مختلف المجاميع $U_n + U_{n+1}$ ، $U_n + U_{n+1} + U_{n+2}$ الخ . أي ان تكون مجاميع الكميات U_n, U_{n+1}, U_{n+2} الخ. مأخوذة ، انطلاقاً من الأولى ، وبأي عدد مراد بحيث تنتهي دائماً الى الحصول على قيم عددية أقل من أي حد ممكن . وبصورة مقابلة ، عندما تجتمع هذه الشروط تتأمن ملاقاة هذه السلسلة .

هذه الأعمال ، المسبوقة ، في سنة 1812 ببحوث مماثلة من قبل غوس ، فتحت مجالاً للبحث امتد تقريباً على كل القرن ، حيث يتوجب ذكر آبيل وراب سنة 1832، ودوهاميل سنة 1839، ومورغان ، وجوزيف برتران سنة 1842، و و. بوني O . Bonnet سنة 1843 ، وكومر Kummer سنة 1835 ، وديني Dini سنة 1867 و ب . دي بوا ـ ريمون P . du Bois - Reymond سنة 1873، و ا . برينشيم A . Pringsheim في السنوات الأخيرة من القرن ، وعند هؤلاء الكتاب تصبح المعايير الكافية للتلاقي اكثر دقة . وقد امكن الأمل بالعثور على حدود بين الحد العام للسلاسل المتلاقية والحد

العام للسلاسل المتفارقة . وقد بدا ان مثل هذا البحث كان عبثاً وان مثل هذه الحدود غير موجودة .

وبالنسبة الى السلاسل ذات الحدود (التعابير) المختلفة الاشارات او الخيالية ، بين كوشي في سنة 1821 انه اذا كانت سلسلة مقاييس التناسب هي بذاتها متلاقية فان السلسلة المقترحة تكون متلاقية ايضاً . وعندها تسمى « متلاقية باطلاق » . وبين ديريكلي Dirichlet ، في سنة 1837 انه إذا كانت سلسلة ما متلاقية باطلاق فان مجموعها مستقل عن نظام حدودها (تعابيرها) . وإذا كانت سلسلة المقاييس متلاقية تلاقياً بسيطاً فان المجموع يتعلق بهذا الترتيب او النظام . وبين ريمان في سنة 1866 ان ترتيب الحدود في مطلق سلسلة متلاقية حقيقية وغير مطلقة التلاقي ، يمكن دائماً أن يُعدَّل بحيث تكون السلسلة ذات مجموع معين بصورة كيفية ومسبقة .

لقد درست معايير التلاقي ، تلاقي السلاسل غير المطلقة التلاقي من قبل آبيل Abel ، وديركلي Dirichlet، وكاتالان Catalan ، وديديكين Dedekind، وكرونيكر Kronecker ، وويرستراس Weierstrass .

السلاسل الكاملة : تعتبر بحوث كوشي حول السلاسل العامة تحضيراً لدراسة السلاسل الكاملة التي سماها ، في سنة 1821 « السلاسل المرتبة بحسب القوة المتصاعدة والكاملة للمتغير » وذلك بوضعه نفسه سواء في المجال الحقيقي أم في التعقيد .

واذا كان الحد العام (التعبير هو : $(a_n + b_n\sqrt{-1})\, x^n$ واذا كان ρ_n هو المقياس في المعامل : $a_n + b_n\sqrt{-1}$ ، فهو يبحث عن اعلى حدٍ لـ A من $\sqrt[n]{\rho_n}$ او ما يسمى اليوم نقطة تراكم السيني الاكبر في المجموعة . « وتكون السلسلة متلاقية او متفارقة بحسب ما يكون المقياس التناسبي للتعبير الخيالي x اقل أو اعلى من 1/A » هذه الصيغه الملحوظة قد اعيد اثباتها من قبل ج . هادامارد J . Hadamard سنة 1892 .

واذا كان مجمل اعمال كوشي حول السلاسل وحول السلاسل الكاملة يعطي مثلاً جيلاً عن العرض الدقيق ، فبالامكان ان نكتشف فيها بعض النواقص وكذلك بعض المقترحات الخاطئة مثل : « عندما تكون الحدود المختلفة في السلسلة هي دالات لنفس المتغير Z ، دالات مستمرة بالنسبة الى هذا المتغير ، وفي جوار قيمة خاصة تكون هذه السلسلة بالنسبة اليها متلاقية ، فان المجموع S في السلسلة يكون ايضاً ، في جوار هذه القيمة الخاصة ، تبعاً مستمراً لـ Z » (التحليل الجبري ، 1821) .

ولسد الضعف في عرض كوشي اوجد ستوكس وسيدل وديركلي حوالي 1840 مفهوم التلاقي المتسق .

وباتباع نفس السبيل ، مع دقة اكبر من دقة كوشي ، نشر النروجي الشاب ، نيلز هنري آبل في سنة 1826 « البحوث حول السلسلة » :

$$1 + \frac{m}{1}x + \frac{m(m-1)}{1.2}x^2 + \ldots + \frac{m(m-1)\ldots(m-k+1)}{1.2\ldots k}x^k + \ldots$$

حيث درس الدالة انطلاقاً من تطورها ضمن السلسلة.

« ان السلاسل المتفارقة هي « شيطانية » ، هكذا كتب الرياضي الشاب الى هولمبو Holmboë ، وانه لمن العار اقامة تبيين عليها . وباستعمالها ، يمكن الحصول على ما نريد ؛ لقد اساءت كثيراً وتسببت بالكثير من الغرائب ». في آخر القرن اذا كان الرياضيون قد تعلموا الاستفادة من هذه (السلاسل الشيطانية) ، فأن تضييق شقة الدراسات وقصرها على السلاسل المتلاقية فقط ، طيلة سنوات طويلة ، لم يكن الا ضرورياً بالنسبة الى تقدم الدقة .

ان سلسلة تيلور Taylor قد لعبت في نظرية الوظائف « الدالات » بحسب لاغرانج Lagrange دوراً أساسياً . ولهذا نفهم الجدوى والاهتمام الذي صبه كوشي Cauchy فيها باكراً . فقد بين أهمية الباقي . واذا نزع هذا الباقي نحو الصفر عندما يتصاعد عدد الحدود الى اللانهاية ، فان السلسلة تتلاقى ومجموعها يساوي قيمة الوظيفة او الدالة . ولكن السلسلة يمكن ان تتلاقى دون أن يتساوى مجموعها مع الدالة . واتخذ كوشي مثلاً العلاقة « الدالة » $e^{-\frac{1}{x^2}}$ التي تثبت صحة هذه الملاحظة .

العدد المركب : الا ان مجد كوشي الاكبر قائم في انه كان ، عن طريق بعض الاكتشافات الرائعة ، احد مؤسسي نظرية المتغير المعقد (المركب) .

في سنة 1821 لم يكن العدد المركب المعقد بالنسبة الى كوشي الا مجرد رمز : « في التحليل ، نسمي تعبير رمزي او رمز كل تركيبة من الاشارات الجبرية التي لا تعني شيئاً بذاتها او التي اليها تعزى قيمة مختلفة عن القيمة التي يتوجب ان تكون لها بحكم الطبيعة . . . ومن بين التعابير أو المعادلات الرمزية المهمة نوعاً ما في التحليل ، يتوجب بشكل خاص تمييز المعادلات التي سميت وهمية أو خيالية . . . وكل معادلة خيالية ليست الا التمثيل الرمزي لمعادلتين داخل كميات حقيقية ».

هذا النص لا يشير اطلاقاً الى تمثيل مقادير معقدة فوق السطح . ومع ذلك ، ومنذ 1799، ومن أجل تبيين القاعدة الأساسية في الجبر استعمل غوس مثل هذا التمثيل واستعمل نقطة تعادل عدداً ما ، إنما دون دراسة منهجية للتطابق بين العمليات المتعلقة بالأعداد والتحولات الجيومترية فوق السطح . وقد اعتمد كوشي نفس هذا الموقف في مذكراته الشهيرة ، حول « الكاملات المحددة المأخوذة بين حدود خيالية » (1825):

« . . . اذا عينا y ، xمتغيرين حقيقيين ، ورمزنا بـ $z = x + y\sqrt{-1}$ الى متغير خيالي . . . فضلاً عن ذلك اذا افترضنا ان المتغيرين x ، y يمثلان احداثيات عامودية وإذا اشرنا ، من أجل الاختصار الى نقطة بواسطة معادلتها . . . ».

في سنة 1821 ، تكلم كوشي عن مقياس تاسب « لعدد خيالي »[1]وهي تسمية ادخلها ارغان Argand سنة 1806 في كتابه « محاولة » حول التمثيل الجيومتري للأعداد المعقدة وهذا المحاولة ارتكزت على نفس المبادىء التي ارتكز عليها ويسل Wessel ، ونشرت سنة 1797 (راجع المجلّد

(1)تلعب زاويةعدد مركّب، مع مقياسه دوراً مهمّاً جدّاً عند كوشي . إلاّ أنّ هذا المصطلح لم يدخل في اللغة الرياضية قبل سنة 1838 .

الثاني). وقام جدل بشأنها ، اشترك فيه . ج . ف . فرانسي F . j وارغان Argand بالذات ، وتدون في حوليات جرغون Gergonne سنة 1814 - 1815. ولم يكن كوشي يجهل هذا العمل ، وحده حذر المحلل منعه ، لمدة طويلة ان يتخذ موقفاً في موضوع التمثيل الجيومتري للاعداد المركبة . وبالاجمال استعانت اعمال كوشي وغوس بتمثيل الأعداد المركزة على السطح ولكنها لم تستعن الا بالخصائص التوبولوجية الثابتة ، في زمنٍ كانت فيه التوبولوجية غير موجودة عملياً كعلم وحيث كان من الواجب اللجوء الى الحدس الفضائي .

وهناك وجهة نظر أخرى ، هي وجهة نظر ويسل Wessel، سنة 1797، ورأي ارغان سنة 1806 ، ورأي موري Mourey ووارين Warren ، سنة 1828، وقد انضم الى وجهة النظر هذه كوشي سنة 1849 فأوضح خصائص العمليات حول المركبات ، واعطاها الشرعية نوعاً ما ، عندما ردها إلى التحولات الأولية في السطح : تنقلات ومشابهات .

وهناك موقف ثالث هو موقف بيلافيتي Bellavitis في كتابه « اسلوب في المتعادلات » لسنة 1837 ، (بدىء به سنة 1832) حيث جاء الحساب المتعلق بالأرقام المعقدة يخصب الهندسة . وفي سنة 1833 أوضح هاملتون وجهة نظر وضعها كوشي ، فأسس نظرية الأعداد المعقدة على أساس تعريفها كمزدوجات من الأعداد الفعلية . وفي هذا المفهوم يعزى التعبير « عدد معقد » الى غوس (Theoria residuorum biquadraticorum , 1831) .

وفي سنة 1847 رسم كوشي ، متأثراً بالأعمال الجبرية التي وضعها كومر ، نظرية جبرية خالصة هي نظرية « المعادلات الجبرية » المرتكزة على تطابق المقياس $(x^2 + 1)$ في حلقة متعدّدات الحدود ذات المعاملات الحقة. ولكن ابتداءً من سنة 1849 بدا علناً داعياً إلى التمثيل الجيومتري ، كما فعل غوس في المانيا بعد 1831. وأهمية هذا التمثيل ، في التحليل قد اقنعته بصورة نهائية .

وظائف أو توابع المتغير المعقد : لم يحقق القرن الثامن عشر أية دراسة منهجية حول وظائف المتغير المعقد . رغم ان العديد من النتائج المهمة قد حصلت في نظرية المعادلات ومن أجل الوظائف اللوغارثمية والأسية . وقد اكتشف كوشي في هذا المجال اكتشافين كبيرين . من جهة لاحظ ، في سنة 1825 ، انه إذا كانت هناك وظيفة f مستمرة ومحددة، $\int_a^b f(z)\, dz$ لا تتعلق بالطريق الذي اثناء طوله يتم التكامل (وكان في تلك الحقبة يؤمن ان الوظيفة المستمرة تمتلك في كل نقطة مشتقاً تام التحديد) . فاذا حصل التكامل في طول خط منحنٍ مغلق لا يحتوي داخله على أية نقطة فريدة ، فان المتكامل يكون لاغياً . واذا وجد داخل المحيط نقطة منفردة فان المتكامل يساوي $2\pi iR$ اذا كان R. هو بقية في هذه النقطة .

وهذا الاكتشاف مرتبط تماماً بمذكرة سنة 1814 المتعلقة بالمتكاملات المتعددة ، وقد نضج في ذهن مؤلفه طيلة سنوات . وقد استمد من « حساب البقايا » جملة من النتائج .

في سنة 1831، طبق الحساب على الوظيفة $\frac{f(z)}{z - x}$ عندما يكون $f(z)$ مستمراً في كل

قيم z الداخلة في منحنى التكامل . والنقطة الوحيدة الفريدة هنا هي نقطة الزائدة x والباقي هو f (x) . ومن ذلك المعادلة : $\int_{\text{محيط}} \frac{f(z)}{z-x}\,dz = 2\pi i f(x)$

وفي الحال استخرج منها كوشي تبياناً لسلسلة تايلور من أجل وظائف المتغير المعقد . وكتب في سنة 1840 ، بهذا الشأن : « من بين القواعد الجديدة . . ومن اكثر القواعد فرادة ، القاعدة التي تنص في الحال على ضوابط (قواعد) تلاقي السلاسل التي يُقدمها تطوير الوظائف الواضحة ، والتي ترد ببساطة قانون التلاقي بقانون الاستمرارية ».

فقد توصل الى ابتكار اداة تحليلية مدهشة . الا أن أسس النظرية تقتضي مع ذلك مراجعة متينة . ولكن قبل تفحص تتابع الأحداث . لا بد من الرجوع الى الوراء .

الوظائف الاهليلجية : منذ 1786، اشتغل ليجندر بجد حول المتكاملات البيضاوية ، اي حول المتكاملات غير المحددة للوظائف الجذرية في x و y ، حيث يشكل y الجذر التربيعي في متعدد الحدود من x ذي الدرجة 3 أو 4 وبعد مذكرتين اصدرهما في سنة 1786 وفي سنة 1793 احتلت هذه الأعمال القسم الأكبر من كتاب « تمارين في الحساب التكاملي » (ثلاث مجلدات ، 1811 - 1819). « والموسع في الدالات البيضاوية والمتكاملات الأولـرية » (3 مجلدات 1825 - 1832). وبعد الحصول على نتائج أولية مختلفة قام ليجندر في سنة 1793 بوضع نظرية عامة حول المتكاملات البيضاوية : مقارنة بين مختلف وظائف هذا النمط ، تصنيف ، واختزال الى ثلاثة اشكال قانونية ، حساب جداولها . أما الاكمالات العديدة التي أدخلها فيما بعد ، وكذلك التطبيقات المختلفة التي توقعها كل ذلك حمله فيما بعد على نشر كتابه الكبير الذي اتاح له تطبيق النظرية الجديدة « تطبيقاً سهلاً يساوي في سهولته نظرية الوظائف الدائرية ، واللوغارثمية ».

الا ان بحوث ليجندر الجارية بعقلية واقعية جداً ، قد جذبت انتباه عالمين في الرياضيات شابين سوف يقلبان هذا المجال الجديد في التحليل تماماً . فبعد 1828 ، اشار ليجندر ان احدى نتائجه الحاصلة حديثاً ، حول « سلالم المقاييس » قد تعممت من قبل استاذ شاب من كونيسبرغ اسمه ش جاكوبي C . Jacobi الذي أذاع بحوثه في « استرونومي نكريتن » شوماخر Schumacher . وهذه المذكرات تدل على « ذكاء المؤلف وعلى خصب الطرق التي بواسطتها استطاع ان يذلل مصاعب موضوعه » .

وقد ألح ليجندر أيضاً على البحوث الحديثة التي قام بها آبيل Abel الذي تشكل مذكرته الأولى (مجلد 2 من صحيفة كريل) ، « تشكل نظرية شبه كاملة حول الوظائف البيضاوية منظور اليها من الناحية الأعم » .

والفكرة الاصيلة عند آبيل ، وقد استعيدت بعد ذلك بقليل وبشكل مستقل من قبل جاكوبي ، هي تحقيق مقلوب (inversion) المتكامل البيضاوي من النمط الأول بعد اتخاذ قيمته كمتغير مستقل وحدّه الأعلى كوظيفة . وهناك فكرة اخرى خصبة ، هي ادخال الأعداد المعقدة ، وقد اتاحت يومها ، وعن طريق ازدواجية دورية الوظائف البيضاوية ، اتاحت تفسير بعض المشابهات الظاهرية بين مختلف

الصيغ الحاصلة وبين الصيغ الموجودة في دراسة الوظائف الدائرية أو في دراسة الوظائف الاسية . والمنافسة الخصبة التي قامت بين آبيل وجاكوبي في موضوع الوظائف البيضاوية قادت العالمين الرياضيين الشابين الى نشر نتائج بحوثهما بوتيرة سريعة . في حين منعت وفاة مبكرة (9 شباط 1829) آبيل من انهاء « الموجز في نظرية الوظائف البيضاوية » التي كان بدأ بها ، قام جاكوبي بتطوير وجهة نظره في كتاب مهم تركيبي ، سوف نعود اليه .

فمنذ 1798، عثر غوس الذي لم يترك اي شيء يرشح عن بحوثه ، حسب عادته ـ على عدة نتائج سبق ونشرها آبيل وجاكوبي . ومع ذلك فقد تقاسم العالمان الرياضيان الشابان اللذان كان [illegible] صحي بالنسبة الى التطور اللاحق في الرياضيات مجد العثور ، مستقلين عن بعضهما البعض وعن أيٍ كان، من جهة على وجوب العمل في كل مجالات المتغير المعقد، ومن جهة أخرى على ضرورة قلب المسألة ثم التعلق ، لا بالمتكامل بالذات ، بل بالدالة أو بالوظيفة (Fonction) المعاكسة وبنفس الاسلوب العثور على يسر دراسة الدالة (الوظيفة) المعاكسة tg x بدلاً من (الوظيفة) $\int_0^x \frac{dx}{1+x^2}$. وقد استطاعا بفضل هذا ، اكتشاف الدورية المزدوجة للوظائف البيضاوية (عكس المتكاملات) واستنتجا من ذلك تعددية الوظائف تعدديةً تشابه تعددية الأقواس في التريغونومتريا ، ونظرية التحول ، التي لا نستطيع التوسع بها .

المتكاملات الأبيلية : ولكن آبيل قدم سنة 1828 اكتشافاً اضافياً اثار حماس كل العالم الرياضي ، ابتداءً من ليجندر العجوز وجاكوبي . ونحن نتكلم عن الخاصة الاساسية في المتكاملات المسماة في أيامنا متكاملات آبيل .

نفترض وجود منحنى ممثل بمعادلة جبرية F (x , y) =0 . أي من جهة أخرى وجود وظيفة جذرية F (x , y) . ان المتكامل الأبيلي $\int_a^x f(x,y)\,dx$ هو المتكامل المحسوب على أساس افتراض ان النقطة M المتكونة من الاحداثيين x وy تنتقل فوق المنحني المعلوم . ان المتكاملات البيضاوية هي حالة خاصة من المتكاملات الآبيلية . وقاعدة آبيل تتعلق بالروابط بين المتكاملات المأخوذة فوق نفس المنحنى : مجموع من مطلق عدد من المتكاملات ذات الحدود الكيفية ، ذات نفس الوظيفة ، يعبر عنه أي عن هذا المجموع بعدد محدد من المتكاملات المتشابهة يضاف اليها كميات جبرية ولوغارتمية . ويكون العدد المحدد ، المميز للمنحني ، هو صنفها .

« كتب أ . بيكار سنة 1893، في تاريخ العلم يقول : لا يوجد اقتراح بمثل هذه الأهمية محصول عليه بمقدمات بمثل هذه البساطة » .

الوظائف البيضاوية عند جاكوبي وويرستراس weierstrass : جمع جاكوبي ، الذي عمل فضلاً عن ذلك على تقدم الفرع الجديد من التحليل المفتوح بفضل قاعدة آبيل ، في عقيدة متكاملة اكتشافاته الخاصة حول Fonction الوظائف البيضاوية في كتاب اسماه : « النظريات الجديدة الأساسية في الوظائف البيضاوية ، في سنة 1829 » . وقد فرضت لغته نفسها في الحال ، ولم تجد تعابير منافسة الا في نظرية ويرستراس الجديدة .

ان الوظائف البيضاوية الأساسية هي عند جاكوبي جيب زاوية الانفتاح (سينوس Sinus)، وجيب تمام زاوية الانفتاح (كوسينوس Cosinus) ، ظل زاوية الانفتاح ، ودلتا الانفتاح . وقد عبر جاكوبي عن هذه الوظائف بفضل سلاسل من الدالات الأسية ، والوظائفΘ حول النموذج الذي اعتمده لها هـ . بوانكاريه H. Poincaré لكي يخلق فيها بعد الوظائف Θ فوشية .

ان الوظائف Θ ، التي عثر عليها فورييه ، في نظريته حول الحرارة بدت ، فضلاً عن ذلك ، سواء بين يدي جاكوبي أو يدي هرميت Hermite وكرونيكر Kronecker ، اداة قوية في نظرية الأعداد. في سنة 1844 ، وضع هرميت خصائص مهمة حول تحول الوظائف البيضاوية منطلقاً من صفة وظائف جاكوبي بأن تكون قابلة للتعبير بفضل حاصل قسمة الوظيفتينΘ ، القابلتين للتطوير ضمن سلاسل دائمة الالتقاء وتبقى هي ذاتها أو تكتسب عنصراً مشتركاً عندما يزاد المتغير بالأزمنة المتعددة . وقد افتتح بهذا حقبة جديدة في تاريخ الوظائف البيضاوية . وبدلاً من أن يركز النظرية فوق متكاملات ليجندر ، ربطها بوظيفةΘ بواسطة طريقة خاصة به من شأنها فيها بعد ان الهمت بوانكاريه في أعماله حول الوظائف الفوشية .

الوظيفة القياسية ؛ الوظائف الأبيلية ؛ وظيفة غاما Gamma : وهناك مساهمة رئيسية قدمها هرميت Hermite كنظرية الوظائف البيضاوية وتقوم على اكتشافه للوظيفة القياسية ، وهي احدى أهم الوظائف في التحليل ، هذه الوظيفة ، التي استخدمها هرميت من أجل حل المعادلة العامة من الدرجة الخامسة بواسطة الوظائف (دالات)البيضاوية،وتنتمي إلى نمط الوظائف الثابتة في تحويل مجانس الشكل (هوموغرافي) للمتغير $Z = \dfrac{az + b}{cz + d}$ (مع كون هنا $ad - bc = 1$) والتي ترتبط بنظرية المجموعات . ان الوظائف القياسية قد سبق ودرست بصورة رئيسية من قبل فليكس كلين . والوظائف الفوشية والكلاينية عند هنري بوانكاريه هي تصميمات لها.

ان الوظائف الابيلية هي وظائف ذات متغيرات كثيرة معقدة ، شبيهة بالوظائف البيضاوية ، وحاصلة انطلاقاً من قلب المتكاملات الابيلية .

وقد فتح جاكوبي ، متبوعاً بـغوبل وروزنهن وهرميت ، ثم ريمان وويرستراس وكليبش وغوردان الذين ربطوا في « الدالة الأبيلية» (1866) هذه الدراسة بجيومترية المنحنيات الجبرية وعثروا ، عن طريق اسلوب اكثر بدائية على أهم النتائج في هذه النظرية ، ونذكر بدون الحاح عواقب وظيفة اخرى ، هي المتكامل الاوليري (نسبة الى أولر Euler) من الصنف الثاني أو الوظيفة غاما $\Gamma(x)$ التي ادخلها أولر ودرست هي أيضاً من قبل ليجندر Legendre وشاعت جداً بخلال القرن .

وعرف ليجندر المتكاملة الأوليرية المذكورة في كتابه « التمارين » وفي كتابه « الوسيط » بالمعادلة التالية :

$$\Gamma (x) = \int_0^1 dt \left(\text{Log}\, \frac{1}{t}\right)^{x-1}$$

ووضع قانون التكرار او التردد $\Gamma (x + 1) = x\Gamma (x)$ وكذلك العلاقات التعاملية التالية .

$\Gamma(n+1) = n!$ إذا كانت n صحيحة ؛

$\Gamma(x)\Gamma(1-x) = \frac{\pi}{\sin x\pi}$ ، الخ .

وبحكم انه حاسب ماهر وشجاع وضع جدول لوغاريتمات $\Gamma(x)$ محسوباً على أساس اثني عشرة كسراً لكل قيم x، بخطوات تبلغ الواحدة منها جزءاً من ألف، انطلاقاً من 1000 الى 2000 .

واهتم غوس Gauss هو أيضاً بهذه الوظيفة وحسب ايضاً جداولها واعتبرها كحد حيث m لامتناهية لـ $\frac{m!\,m^{x-1}}{x(x+1)\dots(x+m-1)}$.

واستنتج ليوفيل Liouville منها ، بعد ان اعتمد نفس الرأي ، في سنة 1853 ، عدة نتائج ملحوظة . وفي ما بعد لاحظ ويرستراس ان $1/\Gamma(x)$ هي متسامية كاملة وصحيحة (اي كمية صغرى متسامية) .

قواعد الوجود بالنسبة الى المعادلات التفاضلية : منذ بداية القرن الثامن عشر اهتم المحللون بموضوع اساسي في الميكانيك وفي الفيزياء الرياضية هو حل المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات المشتقات الجزئية .

وحصل تردد ، لمدة طويلة ، حول ما يجب ان يفهم بعبارة المتكاملة العامة في المعادلة ذات المشتقات الجزئية . في سنة 1815 ،كتب امبير Ampere يقول : « لكي يكون المتكامل عامّاً، يجب ان لا يخرج عنه ، بين المتغيرات المعتبرة ومشتقاتها اللامتناهية ، الا الروابط المعبر عنها بالمعادلة المقدمة ، وبالمعادلات المستخرجة منها عند التفاضل ».

وفي مفهوم ج . داربو G . Darboux ، ان المتكاملة التحليلية العامة هي التي، سنداً لاختيار مناسب للوظائف وللثوابت المطلقة الموجودة فيها ، تتيح العثور مجددا على الحلول التي سبق ودل على وجودها كوشي واتباعه . لقداظهر ا . ديلاسو E . Delassus وا . غورسا E . Goursat في اواخر القرن ، ان تعريف داربو جر وراءه تعريف امبير دون ان يكون للعكس مكان .

ان التبيين لنظرية الوجود الذي قدمه كوشي ، قد عرضه في سنة 1844 الاباتي موانيو Moigno . وهذه الطريقة التي عرضها كوشي في محاضراته قبل 1840، عثر عليها فيها بعد ر . ليبشيتز R . Lipschitz (1868) الذي أوضح شروط تطبيقها . والقصد هو « شروط ليبشيتز» التي لعبت في أيامنا دوراً مهماً في عدة مجالات . ويرتكز أساس الطريقة على استبدال المعادلة التفاضلية بمعادلة ذات فوارق متناهية، تسعى فيها الخطوات فيها بعد نحو الصفر، وهذه الطريقة التي تستعملها الآلات الالكترونية اليوم من أجل «حل المعادلات التفاضلية، قد درست من قبل ب. بينليفي (1896- 1897) P . Painlevé ، ومن قبل أ . بيكار E . Picard (1899 - 1904)، ومن قبل تيوفيلاتو Teofilato (1903) وغورسا Goursat (1905)، و أ . كوتون E . Cotton (1908) ، الخ .

وهناك طريقة اخرى ، هي طريقة التقريبات المتتالية ، وقد اعتمدها ، منذ مدة طويلة علماء الفلك . وقد بين ج . ليوفيل G . Liouville تلاقيها ، سنة 1837 - 1838، في حالة خاصة . الا انه سبق لكوشي Cauchy ان قدم سابقاً في محاضراته تبياناً عاماً حول هذا التلاقي ، وفقاً لاسلوب عرضه موانيو Moigno في سنة 1844، وقد طبقت طريقة مماثلة على المعادلات التفاضلية الخطية ذات النظام المطلق ، من قبل ج . كاكي J . Caqué في سنة 1864. ومن قبل ل . فوش L . Fuchs في

سنة 1870 - 1871، وج . بينو G . Peano ، في سنة 1886 - 1887 . وقد عثر على هذه الطريقة ، بكل عموميتها ، أ . بيكار سنة 1890 . ان اعمال هذا الأخير قد استكملها كل من ا . بنديكسون I.Bendixson سنة 1893 ول . ليندلوف L . Lindelöf سنة 1894، وش . سيفيريني C . Severini لسنة 1898 ، و أ . كوتون E . Cotton سنة 1908 .

وترتكز الطريقة التي سماها كوشي « حساب الحدود » والمسماة اليوم « الوظائف الغالبة» ، على تطور الوظائف التحليلية تطوراً تسلسلياً . وهنا أيضاً يعتبر كوشي اول من بين بأن السلاسل الكاملة الصحيحة المعبرة عن حلول مطلق نظام من المعادلات التفاضلية ، هي متلاقية ، وذلك في أعماله التي اجراها في تورينو سنة 1831، واستعان عليها بسلاسل غالبة اثبت وجودها بواسطة متكاملة .

ان تبيين كوشي ، وقد بسطه بشكل قوي كل من بريو وبوكي حوالي 1850، يطبق بآن واحد على المعادلات التفاضلية وعلى المعادلات ذات المشتقات الجزئية . في سنة 1875 وبآن واحد تقريباً ثبت كل من ج . داربو G . Darboux وصوفيا كوفالفسكايا Sophia Kovalevskaïa (تلميذة ويرستراس) نتائج كوشي المتحصلة من هذه المعادلات الأخيرة المتجددة وبطريقة أبسط . ان اعمال ميري Méray ، ثم اعمال ريكييه، وتريس ، وديلاسو Delassus تدخل ضمن هذا التراث .

وفي ألمانيا ، بعد سنة 1842، دخل ويرستراس ، في نفس السبيل ، رغم جهله يومئذٍ بأبحاث كوشي حول هذا البرهان . فضلاً عن ذلك لم يستعمل ويرستراس ولاميري في أعمالهما متكاملة كوشي . وقد تبع عدد ضخم من الرياضيين، في آخر القرن التاسع عشر والقرن العشرين هذه الطريقة المرتبطة تماماً بنظرية الوظائف التحليلية . وهذه الطريقة اتاحت بشكل خاص ، لكل من بريو وبوكي ، في سنة 1856 ، دراسة النقاط الفريدة في المتكاملات ؛ وقد عاد اليها فيما بعد وطورها أ . بيكار وهـ . بوانكاريه .

وأخيراً هناك طريقة أخيرة ، هي طريقة تغيّر الثوابت قدمها كوشي سنة 1840 . ولا يختلف مبدؤها بشكله الأعم عن القاعدة التي اتخذها ج . بوانكاريه كأساس لبحوثه في الميكانيك السماوي ، بعد ان برز مجلياً في إثباتها إثباتا واضحاً ودقيقاً .

طرق تكامل المعادلات التفاضلية او ذات المشتقات الجزئية . يقوم موضوع تكامل مطلق معادلة تفاضلية ، من منطلق اولي ، على تحديد الوظائف المجهولة بواسطة معادلات متناهية لا يتدخل فيها الا عدد متناهٍ من الرموز الجبرية ومن الوظائف المعروفة مسبقاً . ومنذ القرن الثامن عشر عرف هذا الموضوع عموماً بأنه مستحيل . وقد جرت محاولة لحل المعادلات التفاضلية ، باتجاه اكثر اتساعاً ، هو اتجاه التكامل ، عن طريق التربيعات ، حيث كان من الواجب رد الحساب الى سلسلة من العمليات الجبرية والتكامليات اللامحدودة ، ذات العدد المحدود . وبين ليوفيل ، سنة 1840 ، استحالة هذه المسألة الجديدة بوجه عام . الا ان هذه الاستحالة كانت معروفة سابقاً ومنذ زمن بعيد ، وهذا ما يفسر ظهور مسألة وجود الحلول بالذات .

ان النظريات الكلاسيكية لا تهدف الا الى اختزال ـ في بعض الحالات الخاصة المحددة تماماً ـ مسألة التكامل وردها الى مسائل من ذات الطبيعة إنما أكثر بساطة .

وفي طريقة ضارب أولر في المعادلات من الدرجة الأعلى ، تخفض درجة الوحدة حالما يعرف الضارب . ان طريقة ضارب جاكوبي تتيح استكمال التكامل عن طريق التربيعات ضمن بعض الشروط .

ان اول طريقة عامة في تكامل أو دمج المعادلات في المشتقات الجزئية من الدرجة الأولى تعود الى بفاف (1814 - 1815) . وفي سنة 1819 قدم كوشي طريقة ابسط واكثر سرعة . وبمقارنة اعمال هاملتون حول الميكانيك ، بطريقة بفاف ، اكتشف جاكوبي من جديد طريقة كوشي وقد كان يجهلها .

ويعود الى جاكوبي فضل اكتشاف طريقة اخرى كان قد امتلك مبادئها الأساسية سنة 1836 . وقد علمها لمدة طويلة في كونيسبرغ ، الا أنها لم تنشر الا بعد وفاته ، من قبل كليبش Clebsch سنة 1862. في هذه الاثناء كانت معظم نظريات جاكوبي قد اكتشفت من جديد من قبل ليوفيل (1853) ، ومن قبل بور Bour (1855)، ومن قبل دونكين (1854) الخ . وقد استكملت هذه الطريقة فيما بعد من قبل ماير Mayer .

ان الأعمال الجارية حول المعادلات التفاضلية او ذات المشتقات الجزئية كانت كثيرة العدد بخلال القرن ، بحيث يستحيل استخلاصها هنا ، نكتفي فقط بالقول انه بعد 1872 ، قدم الجيومتري النروجي صوفوس لي Sophus Lie عنصراً فريداً في التصنيف ، وذلك بفضل نظريته حول الـزمر المتتالية في التحولات . وهذه النظرية قد اتاحت ، ليس فقط رد غالبية الطرق الكلاسيكية الى مبدأ وحيد ، بل أعطت ايضاً وسيلة من شأنها استخراج ـ من بنية الزمرة المفترضة معروفة ـ نتائج دقيقة حول طبيعة الأنظمة المساعدة الداخلة في التكامل أو الدمج . نذكر أيضاً ، توسيع أفكار غالوا Galois لتشمل المعادلات التفاضلية المستقيمة الخطية من قبل أ . بيكار سنة 1883، وتبعه دراك Drach وفيسيو Vessiot سنة 1892 .

III ـ التقدم اللاحق في التحليل

بالرغم من ان عرضنا قد تجاوز في بعض الأحيان وبصورة واسعة سنة 1850، فإنّ القسم الكبير مما سبق ذكره كان من فعل الرياضيين من النصف الأول للقرن ، حيث كانت السنوات الواقعة بين 1820 و 1840 سنوات خصب بشكل خاص وابتداء من (1850) تقريباً جرى عمل ضخم معه ، عمل توضيحي وانشائي سوف يستمر ، كما ان النظرية الحديثة للوظائف سوف ترتدي وجهها الكلاسيكي . وكانت ولادة الدقة قد وجدت روادها في غوس Gauss وكوشي Cauchy وآبيل Abel وبولزانو Bolzano الذي كان لعمق نظرته القليل من التأثير . الاّ ان الفكر الجديد قلما ظهر في مجمله الاّ في منتصف القرن ، وسوف نميز ، فيما خص نظرية الوظائف بين ثلاثة تيارات رئيسية : في فرنسا تيار كوشي وفي ألمانيا تيار ريمان Riemann من جهة وتيار ويرستراس Weiestrass من جهة أخرى . وهذه التيارات الثلاثة سوف تتداخل وتصبح نظرية الوظائف التحليلية في السنوات الأخيرة من القرن تركيبة موفقة من هذه التيارات .

منهجة مفاهيم كوشي ـ Cauchy : في سنة (1843) قام ب . آ . لوران P . A . Laurent،

ضابط في الهندسة المدنية، باكمال نظرية كوشي لسنة (1831) وذلك حين اكتشف ما سمي « سلسلة لوران » . وتبوأ فيكتور بويزو Victor Puiseu ، تلميذ ستورم Sturm ، بعد ان استوعب أفكار كوشي ، مركز الصدارة في العلم ، وأسس في سنة (1850) ، نظرية الوظائف الجبرية للمتغير المعقد .

ووضع جوزيف ليوفيل (1809 - 1882) الذي أسس سنة 1836 مجلة الرياضيات التطبيقية والنظرية والذي كان له دور مهم في كل فروع الرياضيات وضع حوالي 1850 ، وبذات الوقت مع هرميت Hermite نظرية الوظائف البيضاوية ، بالتجريد ، كوظائف (جزئية الاشتقاق الشكلي) من المتغير المعقد ذي المرحلتين . وهكذا كان لافكار كوشي الأساسية نصران : في تطبيقاتها على الوظائف الجبرية من جهة وعلى الوظائف البيضاوية من جهة أخرى .

وأعاد كوشي بنفسه النظر في النظرية العامة لوظائف المتغير المعقد وابتدع معجمية ، توضح خصائصها : الوظائف وحيدة التعيين monodromes فيما يتعلق بالوظائف التي نسميها متسقة خاصة الوظائف وحيدة الأصل monogènes بالنسبة الى الوظائف المستمرة ، والتي يعتبر اشتقاقها في كل نقطة محدداً . ولم يشكك كوشي على الاطلاق باشتقاقية مطلق وظيفة مستمرة للمتغير الحقيقي . ولكنه لاحظ انه بالنسبة الى المتغير المعقد ، ان الدرب الذي يتبعه هذا المتغير وبه ينزع نحو حده ، يلعب هذا الدرب دوراً مهماً أما قواعده التي وضعها سنة 1825 و 1831 فهي قابلة للتطبيق فقط على الوظائف المونوجينية .

في سنة 1959 نشر بريو Briot وبوكي Bouquet « نظريتهما حول الوظائف المزدوجة الدورية » وأعيد طبع الكتاب سنة 1873 - 1875 تحت عنوان « نظرية الوظائف البيضاوية». وبعدها ارتدت أفكار كوشي Cauchy الشكل التعليمي الذي كان ينقصها . وكان أول قسم من هذا المؤلف يشتمل على عرض للنظرية العامة للوظائف ، وفقاً لمفاهيمه . وما يزال يوجد ، من معجمية هذين المؤلفين عبارة « الوظيفة التحليلية » وقد صاغاها سنة 1875 .

نظرية الوظائف عند ريمان Riemann : كان برنهارد ريمان (1826 - 1866) احد الرياضيين الأكثر عمقاً في القرن وقد تتلمذ على غوس في غوتنجن . ثم على جاكوبي وعلى ديريكلي في برلين . وعندما عاد الى غوتنجن ، ناقش فيها اطروحته سنة 1851 ، قبل ان يعلم في هذه الجامعة المشهورة ، كأستاذ مساعد ، وذلك سنة 1857 ، ثم كخليفة لديريكلي، على منبر غوس سنة 1859 . ومرض مرضاً خطيراً بعد 1862 فمات سنة 1866 ولما يبلغ الأربعين .

تعتبر اطروحة 1851، فيما يتعلق بنظرية الوظائف ، واسمها (أسس النظرية العامة لوظائف المتغير المعقد) أساسية . وهي مستقلة تماماً عن أفكار كوشي ، وتستوحي الفيزياء الرياضية : (نظرية الزخم الكامن وسيولة الموائع) وفي الجيومتريا ، (التمثل المتوافق) . ويعتبر ريمان هنا تلميذاً للرياضي الألماني الكبير غوس ، الذي يمتاز عمله عن عمل كوشي وان كان أقل انتشاراً في الأوساط العلمية ، كما يعتبر حاسماً بالنسبة الى تقدم العلوم اللاحق .

ان نظرية الزخم الكامن المؤسسة في القرن الثامن عشر (راجع المجلّد الثاني) قد طورت بشكل خاص في القرن التاسع عشر . وأدخل غرين Green الكلمة ذاتها ضمن مذكرة أساسية يعود

تاريخها الى سنة 1828، ولم تعرف تماماً الا بعد اعادة طبع المذكرة سنة 1846 من قبل و . طومسن W. Thomson . بين هذا الأخير ، سنة 1843 ، ثبوتية معادلة لابلاس Laplace بالنسبة الى القلب « التغيير رأساً على عقب ». واشتغل غوس سنة 1839 - 1840 بعمق حول نفس موضوع الزخم[1].

رغم كون ريمان بعيداً عن التراث الفرنسي ، الا انه في بحوثه يقترب جداً من اعمال كوشي الاخيرة حول المسألة التي عاصرتها اطروحته تقريباً .

وعندما كتب ريمان حول المتغير : $z = x + iy$ وحول الوظيفة $f(z) = u + iv$ فانه اتخذ كأساس المعادلتين المتقارنتين $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$ ورد الى دراستهما نظرية وظائف المتغير المعقد . وأدى هذا الى النظر في المعادلة : $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$ وهي معادلة الزخم والوظائف الهرمونية .

ومن بين المسائل التي يمكن طرحها حول هذه المعادلة ، تعتبر المسألة الأكثر شهرة هي مسألة «ديريكلي Dirichlet »: تحديد قيمة المتكامل بالمقادير التي له فوق مستدير مقفل . وقد طرحت بشكل خاص في المسائل المتعلقة بالتمثيل المتجانس في قسم من السطح مع سطح آخر ، وقد حلها ريمان بطريقة بقيت مشهورة ، سميت ، تطبيق « مبدأ » ديريكلي، وقد استعمله هذا الرياضي الكبير الذي كان مع جاكوبي وغوس احد ملهمي هذا المبدأ . ومن بين الوظائف ، وظائف x و y التي تتخذ في المستدير القيم المعينة ، اتخذ القيمة التي تجعل متقلصاً الى اقصى حد المتكامل المزدوج

$$\iint \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2\right] dx\, dy.$$

وقد بين يومئذٍ ان هذه الوظيفة تكفي المعادلة . وبين ويرستراس ، في سنة 1869 انه ، اذا كان صحيحاً ان المتكامل المزدوج محدود من تحت ، فلا شيء يقول انه يبلغ هذا الحد . وهذه الملاحظة احدثت صدمة حقة ، وكانت في أساس اعمال شوارتز ، وش . نيومان ، وهـ بوانكاريه .

وبين هلبرت في سنة 1900 انه من الممكن بواسطة طرق جديدة جعل تبيين ريمان أكثر دقة .

بدايات التوبولوجيا : ان المنح التوبولوجي في طرق ريمان المتعلقة بنظرية الوظائف بدت أيضاً أكثر وضوحاً في مذكرته : « نظرية الوظائف الأبيلية » (1857) ، المستخرجة من دروسه لسنة 1855و 1856 .

وبفضل التوبولوجيا التي كانت تسمى يومئذ « تحليل الوضع » . تأسست فعلاً نظرية الوظائف الجبرية التي فاتت خصائصها الأساسية كوشي وبويزو . وهنا برز تصور « سطوح ريمان » المتكون من سطوح متراكمة ، يعادل عددها درجة المعادلة الجبرية ، ومرتبطة بخطوط مرور ، يتم الحصول عليها بضم النقط الحساسة بشكل من الأشكال .

وكان تأثير ريمان كبيراً جداً وشبه مباشر . ويمكن ان يذكر من بين تلاميذه ، في ألمانيا ، كارل

(1) أنظر أيضاً حول هذا الموضوع دراسة J . بوير في الفقرة الأولى ، الفصل الرابع ، القسم الثالث .

نيومان وغوردان، وهانكل وكليبش وفوش.

وفي فرنسا نشر ش . جوردان ، بعد (1866) ، مذكرة حول تشويهات السطوح حيث بيّن بشكل خاص ، ان سطحين مقفلين فيهما نفس العدد من الثقوب أو هما من نفس النوع يتطابق أحدهما فوق الآخر .

وفي ايطاليا ومنذ (1859) ، قدّم انريكو بيتي Enrico Betti ترجمة ايطالية للمذكرة الريمانية العائدة لسنة (1851)، ونشر التحليل المفصل لهذه الترجمة (1868) في « نظرية الدالّات » لكازوراتي Casorati .

وقدّم بتي ، بعد ريمان وقبل هـ . بوانكاريه للتوبولوجيا خدماتٍ جلى . وفي سنة (1868 1869) طوّر بريوشي Brioschi وكريمونا Cremona وكازوراتي Casorati ، في محاضراتهم المتبادلة نظرية الوظائف البيضاوية والوظائف الابيلية بحسب مفاهيم جاكوبي Jacobi وكليبش Clebsch وغوردن Gordan ، وريمان Riemann .

نظرية الوظائف وفقاً لويرستراس Weierstrass : تعلم كارل ويرستراس (1815 - 1897) الوظائف البيضاوية على يد غودرمن Gudermann الذي حرضه على اعتماد ـ من أجل هذه الدراسة ـ التطورات ضمن السلاسل الكاملة الصحيحة . وبعد ان كان لمدة طويلة استاذ تعليم ثانوي ، علم في مدرسة بوليتكنيك في برلين ، ثم في سنة 1856 في جامعة هذه المدينة حيث عرفت دروسه نجاحاً كبيراً . وكان قليل النشر ، ولكن اثره ظهر من خلال تعليمه ، وكان من الصعب أحياناً ، من خلال النشرات اللاحقة التي قام بها تلامذته العديدون ، تبين اكتشافاتهم الخاصة وأفكار المعلم .

وقد جهد ان يستبعد ما امكن اللجوء إلى الالهام والوصول إلى أقصى درجات الدقة ، فكان لويرستراس على الرياضيين في العالم كله تأثير ضخم : حتى قال بشأنه هرميت سنة 1900 في المؤتمر الدولي في باريس « ان ويرستراس هو معلمنا جميعاً » .

وقد لاحظ ريمان في سنة (1861) وفي تعليمه ، وفيما خص المتغيّر الحقيقي ، لاحظ ان استمرارية الوظيفة لا تقتضي ابداً اشتقاقيتها . وفي سنة (1871 - 1872) انشأ ويرستراس أول مثل حول الوظيفة المستمرة فوق قطعة من خط حيث لا اشتقاق على الاطلاق . هذه الوظائف بدون اشتقاق او تفريع ، والتي عرفت مسبقاً من قبل بولزانو Bolzano اعتبرت عند ظهورها كحالات بشعة ضخمة ، غير عائدة الى الرياضيات الأصولية . « انني اعرض بفزع ورعب ـ هكذا كتب هرميت الى ستيليجس Stieltjes ـ من هذا الجرح المؤلم الذي ينتج عن الوظائف المستمرة التي ليس لها مشتقات » .

وفي مجال المتغيّر المعقد ، قام ويرستراس ، وقام بمعزل عنه ميري Méray في فرنسا ، بتعريف الوظيفة بتطوير للسلسلة الصحيحة في مجاورة نقطة منتظمة . وتحددت بعدها وبالتقريب المتمادي الوظيفة من خلال امتدادها التحليلي . واذا تلاقت سلسلة الانطلاق في كل السطح ، فإنها تمثل « وظيفة متصاعدة صحيحة » . وبيّن ويرستراس انه بالامكان عندئذٍ تفسيرها بشكل حاصل ضرب عدد غير متناه من العوامل ، « هي العوامل الأولية » عوامل ويرستراس . واكتشف سنة (1876) ،

وبذات الوقت مع كازوراتي Casorati ، انه في مجاورة نقطة فريدة وأساسية يمكن لوظيفة متسقة ان تقترب بمقدار الرغبة من قيمة معينة .

وفي سنة (1879) حصل اميل بيكار على نتيجة اكثر دقة : كل وظيفة تحليلية (f (x ذات نقطة منفردة معزولة تتخذ ، مرات لا حد لها ، كل قيمة معينة في جوار هذه النقطة ، ولا يوجد اي خروج على هذا الاّ فيما خص قيمة واحدة خاصة . وكان تبين اميل بيكار ، تطبيقاً لنظرية الوظائف القياسية . وهذه المسألة كانت موضوع بحوث كثيرة لاحقة .

وقد بنى ويرستراس نظرية جديدة حول الوظائف البيضاوية تمتاز عن نظرية جاكوبي انها لا تحتوي الاّ على وظيفة واحدة أساسية بدلاً من ثلاث وظائف . وقد عرف نشر معادلات شوارز Schwarz في سنة 1885 العالم العلمي بالنظرية الجديدة التي اتخذها هالفن Halphen كأساس « لمعالجته الوظائف البيضاوية » (ثلاثة مجلدات ، 1886 - 1891) والتي اعتمدها ك . جوردان في تعليمه وفي الطبعة الثانية من « محاضرات حسابي » . وبلغت نظرية الوظائف البيضاوية ذروتها مع ويرستراس .

واستطاع هـ . ليبيغ H . Lebesgue ان يقول عنها : « ان الوظائف البيضاوية المجهولة جداً ، منذ ان قام ويرستراس بتبسيط عرض قواعدها العامة » مضيفاً « ان القواعد العامة تستجيب للمسائل التي سبق طرحها ؛ ولكن للأسف انها تستجيب بسهولة بالغة ، دون ان تقتضي منا أي جهد . ولما كانت تعطينا حلول المسائل قبل ان ندرسها فانها تميت الفضول فينا وتحرمنا من المعرفة العميقة التي من شأنها ان تؤدي الى مسائل جديدة » .

حسبنة الرياضيات : ظل المحللون حتى سنة 1870 يشبهون الى حد ما ، علناً ، الاعداد الصحيحة الحقيقية باجزاء الخط المستقيم ، أو بالأحرى بقياسات هذه الأجزاء انطلاقاً من وحدة طولية . وهذا الموقف هو استمرار باق من موقف ديكارت ومن النظرية اليونانية حول النسب . ولكن منذ منتصف القرن تقريباً وفي بعض الحالات كان هناك شعور بضرورة ملاحقة الأشياء عن قرب اكثر والأول الذي عبر عن هذا الميل هو شارل ميري الذي اعطى في سنة 1869 معنىً حسابياً خالصاً للعبارة « العدد غير الجذري » .

وسمي يومئذ « المتغير المتدرج » ، وفي ما بعد « البديل » سلسلة من الأعداد الجذرية . واذا كان البديل هو سلسلة كوشي ، فقد صرح بأن هذه السلسلة تلتقي . ويكون البديلان متعادلين اذا كان الفرق بينهما ينزع نحو الصفر وإذا كان البديل متلاقياً ودون حدود فهو يحدد عدداً وهمياً يسمى غير جذري . والبديلان المتساويان يحددان نفس العدد .

لقد طور ويرستراس في تعليمه ، وخاصة سنة 1865 - 1866 ، افكاراً مماثلة إنما اكثر تعقيداً . ومن أجل تبسيط عقيدة ويرستراس التقى ج . كانتور وهـ . أ . هين H . E . Heine في سنة 1872 مع ميري Meray . وبذات السنة قدم نقطة ر . ديديكين R . Dedekind تعريفه للاعداد غير الجذرية بواسطة الفرجات في مجمل الأعداد الجذرية ، وشكل بذلك نظرية أصبحت فيها بعد كسلاسيكية (-Ste tigkeit und Irrationale Zahlen . Braunschweig 1872) وهكذا تقدم العدد البنيوي [غير البسيط]

والمبني المركب على الخط المتقطع لأنه اكثر ايحاءً وان يكن اقل وضوحاً ؛ وحل علم العدد (ارتمتيك) محل الجيومترية في التحليل . فضلاً عن ذلك وسواء في نظرية المعادلات التفاضلية ام في النظرية العامة للدالات (للوظائف) اضطرت البحوث ، في دقتها ، ومن أجل الاحاطة المتمادية بالمسائل الشاذة ، ان تتخذ موقفاً مهمّاً أكثر فاكثر بالخصائص الارتمية (الحسابيـة) الخالصة في الأحداثيات أو في العدد المعين للموقع (affixe) وهذه هي حسبنة الرياضيات التي لحظها بشكل خاص فيلكس كلين Felix Klein .

هنري بوانكاريه Henri Poincaré : لقد ذكرنا هنري بوانكاريه (1854 - 1912) وسوف يذكر ايضاً كثيراً في هذا المجلد . ولكن قسماً مهماً من عمله سوف لن يذكر الا في المجلد المخصص للقرن العشرين . كان بوانكاريه تلميذ مدرسة نانسي Nancy ، ثم دخل مدرسة بوليتكنيك سنة 1873 وجاء الأوّل في دورته . ثم انتقل بعدها الى مدرسة المناجم ، واستقر في فيزول سنة 1879 بصفة مهندس في مصلحة المناجم . وفي سنة 1878 ناقش أطروحة دكتوراه حول خصائص الوظائف المحددة بواسطة معادلات ذات مشتقات جزئية . واهتم بأعمال هرميت ونشر مذكرات حول نظرية الأشكال وحول تطبيق الجيومتريا غير الاقليدية على نظرية الأشكال التربيعية . وساعدته دراسة بحث وضعه ل . فوش L . Fuchs على اكتشاف الوظائف المتطابقة ذاتياً في سنة 1881. وعلم التحليل في كلية العلوم في كاين منذ مطلع 1880 . وفي تشرين الأول 1881 ، سمي استاذاً محاضراً في كلية العلوم في باريس وعلم فيها بآن واحد ، التحليل ، والميكانيك السماوي والفيزياء الرياضية . كما علم في مدرسة بوليتكنيك من سنة 1904 الى 1908. وأصبح عضواً في اكاديمية العلوم سنة 1887 ، وفي الاكاديمية الفرنسية في سنة 1909. ومات سنة 1912 على أثر عملية جراحية .

« لقد كان ذا نشاط دائم ومتجدد ، واعتنى بكل المجالات الرياضية والفزيائية المعروفة في عصره ، واستخرج منها المبادىء الفلسفية ، واكتشف حقول بحوث كثيرة ، الى درجة انه لا يوجد في الوقت الحاضر اي مجال في الرياضيات ، لم يقدّم فيه شيئاً أو لم يطبعه بطابعه » (ج . جوليا G . Julia ، 1954) .

نذكر اخيراً بأهمية كتاباته الفلسفية التي عرفته لدى الجماهير . وقد جمعت هذه الكتابات في « العلم والفرضية » (1906) ، « وقيمة العلم » (1913)، «العلم والمنهج » (1908)، « الأفكار الأخيرة » (1913) . ومطالعة هذه الكتب تبقى دائماً جذابة ومثقفة .

IV ـ نظرية المجموعات

ان اللامتناهي ، ومنذ أيام اليونان واليونانيين امثال زينون الايلي Zeinon Elée ، وإيدوكس Eudoxe ، وارخميدس Archimède ، قد جذب الرياضيين وشغلهم . أما المدرسيون في القرون الوسطى ، ثم في القرن السابع عشر مبدعو الحساب اللامتناهي الصغر ، فقد اصطدموا ، بالعديد من التناقضات ، ويمكن هنا ذكر غاليلي Galilée وتلميذه توريشلي Torricelli . وحاول فونتونيل Fon-tenelle اجراء مؤالفة فاشلة سنة 1727. وفي القرن التاسع عشر لفت بولزانو Bolzano ، في كتابه :

Paradoxien des Unendlichen ، المنشــور سنــة 1851، الانتبــاه الى خــاصيــة المجمـوعــات اللامتناهيـة ، والتي تمكنها من التـوافق الكامـل مع بعض من أجـزائها . ويمكن أيضــاً ذكر بـول دي بوا ريمون Paul du Boix- Reymond ، ودراساته حول نمو الوظائف ولكن جورج كانتور G. Cantor (1845 - 1918) هو الذي استخرج من دراساته حول وظائف المتغير الحقيقي، وبشكل خاص حول سلاسل فورييه Fourier ، نظرية جديدة كان لها على الرياضيين اللاحقين تـأثير ضخم هي نـظرية المجموعات .

جورج كانتور **Georg Cantor** : ولـد في سان بطرس برغ سنة 1845 ، من عـائلة يهودية اصلها من البرتغال . ودرس في جمناز ويسبادن ثم في زوريخ . ومنـذ 1863 اتجه نحـو النظري ، ثم تتلمذ في برلـين علـى كومـر Kummer وويـرستراس Weierstrass ، وكـرونيكر Kronecker . ولم تدل اطروحته ، لسنة 1867 ، والمخصصـة لنظريـة الأعداد ، عـلى الاتجاه الـذي سلكه في أعمـاله اللاحقة . وعلم كأستاذ خاص في جامعة هال ، سنة 1869 ، ثم كمســاعد استاذ سنة 1872، وثبت في الملاك سنة 1879، ولكنه لم يحظ بكرسي الاستاذية في برلين . وفي سنــة 1884، بدأت تـظهر عليـه علامات المرض العقلي. ومكنت فترات الصحو الصحي كانتور من متابعة اعماله . وبخلال احدى هذه الفترات حول كرسيه في الرياضيات الى كرسي في الفلسفة . ومـات في مدينـة هال في 6 كـانون الثاني 1918. وبدأت أعماله الأصيلة حول المجموعات في سنة 1873، بمقال أول تبعته كتابات ظهرت بين 1878 و 1883، ثم بين 1895 و 1897. وتميز اكتشافه للأعداد « العابـرة النهائيـة » في سنة 1879 بشكل خاص .

كتب كانتور في سنة 1897 (ترجمة ف . ماروت ، 1899 الى الفرنسية) يقول : نـسمي مجموعاً كل اتحاد M من الأشياء في مفهومنا m، محددة ومتميزة تماماً ونـسميها عـناصر M . . .

« ونسمي « قوة » أو « عدد رئيـسي » من M المفهوم العام المستخرج من M بواسطة قدرتنا على التفكير وذلك بعد تجاهل طبيعة العناصر المختلفة m وترتيبها . . .

« ونقول ان مجموعتـين M و N متـساويتـان ونكتب M∼N أو N∼M، عندما يكون بـالامكان جمعها بحيث ان كل عنصر من احـدها يتطابق مع عنصر ، وعنصر واحـد من الآخر . . . ويكـون للمجموعتين عندئذٍ وعندئذٍ فقط نفس العدد الرئيسي عندما تكونان متعادلتين » .

ان مجمل الأرقام الصحيحة الطبيعية له قوة تمثلها العلامة $\aleph_0$ (ألف ـ صفر) . وكل المجموعات التي تعادل هذا المجموع تعتبر قابلة للتعداد .

في سنة 1873 اثبت كانتور ان مجمل الأرقام الجبرية قابل للتعداد ، كما اثبت من جهة أخرى ان مجمل الأعداد الحقيقية غير قابل للتعداد . وهكذا فوجود الأعداد المتصاعدة قد اقـر بواسـطة اسلوب مستقل تماماً عن أعمال ليوفيل .

وبين كانتور انه بالأمكان اقامة جمع وضرب « خاضعين للقوانين التبادلية والتجمعية والتوزيعية على الأعداد الرئيسية أو القوى ».

وعرف التصعيد بما يلي : « لو فرضنا وجود مجموعين N و M، وقانون يجعل كل عنصر من N مطابقاً لعنصر محدد من M، هذا القانون يحقق تمثيلاً لِـ N على M. واجتماع كل التمثيلات المتميزة لِـ N على M يمثل المجمل التزايدي لِـ N مع M. اما العدد الرئيسي فيتعلق بعددي M و N الرئيسيين a و b ، ويرمز اليه بِ a^b . وعلى هذا تكون قوة العدد المستمر هي $2^{\aleph_0}$ » .

الأعداد العادية الكثيرة الغنى : ننظر الى مجموعات منظمة تنظيماً بسيطاً ، أي انه بالأمكان وضع ترتيب خطي بين عناصرها ، ادخل كانتور بينها نمط النموذج العادي . وهو يقصد بذلك « الفكرة العامة التي تنتج عن M عندما نتجاهل طبيعة عناصر M، دون ان نتجاهل ترتيب تتابعها » .

ويسمى المجموعان المنتظمان نفس الانتظام متشابهين . ويكون لها نفس القوة أو نفس العدد الرئيسي . ولكن المجموعين المنتظمين المتساويين يمكن ان لا يكونا متشابهين اذا كان لها عدد غير محدود من العناصر . وتشكل كل الأنماط من ذات القوة « طبقة من الأنماط » . ويمكن فوق الأنماط ، اجراء جمع وضرب . فالجمع هو مشاركة ولكنه غير تبادلي . وكذلك الحال بالنسبة الى الضرب الذي لا يكون توزيعياً بالنسبة الى الجمع الاّ عندما يكون العدد الضارب مجموعاً من الأعداد .

ونمط الأعداد الكاملة هو ω . اما نمط الأعداد الجذرية الموجودة بين صفر وواحد ، والمرتبة ترتيباً تصاعدياً فهو η واذا كان مجمل ذو ترتيب بسيط ، من القوة $\aleph_0$ لا يحتوي على اي عنصرذي مرتبة ادنى أو أعلى من كل العناصر الأخرى ، وإذا كان ثقيلاً في كل مكان ، فهو من نمط η . والنمط المستمر المستقيم هو θ . وقد وضع كانتور مميزاته ، ومن بينها ان يكون كاملا ، وهو مفهوم تجريدي يعود الى تلاقي سلاسل كوشي . ان كل مجمل منتظم M كامل ومحتوٍ على مجمل فرعي بقوّة $\aleph_0$ مثقل على M هو من النمط θ .

« من بين المجموعات المرتبة ترتيباً بسيطاً ، يجب الاهتمام الخاص بالمجموعات الحسنة التنظيم . وأنماطها العادية ، ونسميها نحن أعداد عادية ، تعطي العنصر الطبيعي لتعريف دقيق من الأعداد الغنية العليا » .

ان المجمل F يكون جيد الانتظام « عندما تتدرج عناصره f انطلاقاً من عنصر f_1 ، في سلسلة محددة ، بحيث يوجد في F عنصر أساسي f_1 وانه اذا كان 'F هو جزء من F، واذا كان F يمتلك عنصرا أو عدة عناصر من مرتبة اعلى من كل العناصر الموجودة في 'F فإنه يوجد عنصر 'f من F يتبع مباشرة المجمل 'F، بحيث انه لا ينوجد في F اي عنصر تضعه مرتبته بين 'F و 'f ».

وهذا التعريف يعود في أساسه الى سنة 1883، ان الاعداد العادية تشكل بذاتها مجموعاً جيد التنظيم في داخله يمكن اجراء عملية جمع وضرب . ولهاتين العمليتين الخصائص التالية : $\alpha < \alpha + \beta,\ \beta \leqslant \alpha + \beta$ ؛ والجمع تجميعي ولكنه غير تبديلي ، أما المعادلة $\alpha + \beta = \alpha + \gamma$ فتؤدي الى $\beta = \gamma$ والضرب تجميعي ولكنه غير تبديلي : $\alpha(\beta + \gamma) = \alpha\beta + \alpha\gamma$; و $\alpha\beta = \alpha\gamma$ تؤدي دائماً الى $\beta = \gamma$ اذا كانت : $\beta > 1,\ \alpha\beta > \alpha$ و $\alpha\beta \geqslant \beta$ ان الأعداد العادية المتناهية تتوافق في خصائصها مع الأعداد

الرئيسية المتناهية وتشكل الطبقة الأولى العددية . أما الطبقة الثانية فهي الطبقة المتوافقة مع المجموعات الحسنة الانتظام من القوة $\aleph_0$. وأصغر عدد موجود فيها هو ω نمط منتظم في مجمل الأعداد الطبيعية . وقوة هذه الطبقة الثانية تساوي العدد الثاني الرئيسي الغني $\aleph_1$ (ألف واحد). وبنى كانتور حساباً متكاملاً من الأعداد العادية من المرتبة الثانية بما فيه التثقيل . وأبعد من هذه المرتبة الثانية تمتد الأعداد الغنية الى ما لا نهاية .

ان الأفكار الثورية التي جاء بها كانتور ، اثارت منذ ظهورها الاعتراضات العنيفة وخاصة من قبل كرونيكر . وظل مفكرون عظام أمثال هرميت معارضين تماماً لكانتور ، لأن الرياضيين قد انقسموا الى فريقين . ولكن إذا كانت أفكار كانتور لم تصمد أمام الانتقاد ، الا ان جوهرها كان مكسباً للعلم ، كما كانت حافزاً قوياً يحفز الرياضيين من الجيل اللاحق . ودون الدخول المسرف في تاريخ القرن العشرين ، فانه بالامكان التذكير هنا بأسماء بعض الرياضيين الفرنسيين الذين استلهموا أفكار كانتور استلهاماً مفيداً ، ومنهم بالدرجة الأولى كميل جوردان الذي عرف كيف يتمسك في تعليمه في مدرسة البوليتكنيك وفي كوليج دي فرانس عند مستوى آخر تقدم علمي ، ثم ج . تنيري J. Tannery واميل بوريل Emile Borel ، وريني بير René Baire ، وهنري ليبيغ Henri Lebesgue .

V ـ نظرية الاعداد

فيما خص نظرية الأعداد ، يبدأ القرن التاسع عشر بأعمال ليجندر وغوس اللذين نظما تقديمات القرن الماضي وقدما للقرن الجديد مناهج ومسائل بآن واحد .

ليجندر : استمر عمل ادريان ماري ليجندر Adrien - Marie Legendre من سنة 1798 الى سنة 1830 . فتبدأ أولاً بكتابه « محاولة حول نظرية الأعداد». وأعيد نشر الكتاب سنة 1808 مع التعديلات بلغت حداً لدرجة «ان نصف الكتاب، قد أصبح كتاباً جديداً»، ثم ملحقات بين 1816و 1825 . وأخيراً صدر له سنة 1830 كتاب : « نظرية الاعداد » (مجلدان) . ونجد هنا ، كما في نظرية الوظائف البيضاوية ، المثابر الذي يعيد النظر باستمرار بأعماله ، حتى النفس الأخير . ثم أن هذا العمل ما يزال مهماً يستحق المراجعة خاصة بالجداول العديدة الموجودة فيه . وهو يرتكز على أساس رئيسي هو نظرية الكسور المتتالية بعد ان اثبت لاغرنج خصبها منذ (1767) .

غوس Gauss : ان العمل الاساسي الذي قام به غوس بعنوان بحوث حسابية (1801) وترجم إلى الفرنسية سنة 1806، يتوافق مع عمل ليجندر . انه نتاج شباب ولم يطبع منه صاحبه الا طبعة واحدة. وقد وصل الى الكمال تقريباً وكان خير ملهم لكل المنظرين اللاحقين حول العدد .

وهو يدعو بطريق المثل إلى ضرورة الدقة الصارمة في الرياضيات . ومن وجهة النظر هذه وابتداء من هذا المؤلف، تجاوزت نظرية الاعدادا تجاوزاً كبيراً كل الأعمال التي تناولت نظرية الوظائف، أو الجيومتريا حتى منتصف القرن على الأقل . وقد ساعدت نظرية الاعداد ، مع الجبر الخالص على ولادة الرياضيات الحديثة كما استمرت ضمن مفهوم القرن العشرين .

التطابق او الموافقة : ان مفهوم التطابق ـ أو بصورة أدق الترقيم بحسب المطابقات وعلم المصطلحات ، قد ادخله غوس منذ ان وضع كتابه .

« اذا قسم عدد a الفرق بين عددين b و c ، فيقال ان b و c **متطابقان بحسب** a والا فهما غير متطابقين . ويسمى a النموذج . وكل من العددين b و c ، « كبقيتين » للآخر في الحالة الاولى ، و « غير بقيتين » في الحالة الثانية . ونرمز الى تطابق عددين بهذه الاشارة ≡ ، ونضيف اليها عند الضرورة النموذج محصوراً بين هلالين من ذلك مثلاً . $-16 \equiv 9 \text{ (mod. 5)}, -7 \equiv 15 \text{ (mod. 11)}$.

هذا التوسع في مفهوم المساواة ، والذي فضل كوشي Cauchy تسميته « بالتعادل » هو أول مثل في طبقات التعادل ، تعادل لعب دوراً مهماً في كل مجالات الرياضيات المعاصرة .

ان مطابقات الدرجة الاولى ، على الاقل عندما يكون النموذج أولياً ، لا تعترضها صعوبات خاصة . ولكن مطابقات الدرجة الثانية تطرح مسألة البقايا الرباعية . في القرن الماضي حقق ليجندر سنة (1785) قانون التعاكس الذي كان أولر Euler قد درسه بعمق . ومنذ (1796) كان غوس الذي أثبته بدقة ، قد اعطى عنه ست بيانات كما اهتم بهذا القانون أيضاً فيما بعد كثيرون منهم : ديريكلي وكرونيكر .

الاعداد الخيالية عند غالوا Galois : ان المطابقة ذات الدرجة n ، بالنسبة الى نموذج أول p له ، على الاكثر n من الجذور عندما يكون $p > n$.

وخطرت لغالوا في سنة (1830) الفكرة العبقرية بادخال اعداد وهمية خيالية سميت « خياليات غالوا » ، مشابهة للخيال الوهمي i في الجبر ، مما اتاح اعطاء كل مطابقة عدداً من الجذور الصحيحة n ..

وتمثيل هذه النظرية الجديدة من قبل غالوا كان غريباً الى حدٍ ما . ولكن ديديكين Dedekind ، وقد قلده سيرّيه Serret في فرنسا ، رد هذه الطريقة الى دراسة للمتطابقات ، تتعلق نسبياً بمعيار عددي p ، ومن جهة اخرى بالنسبة الى معيار هو « متعدد الحدود » اول مبني على جسم البقايا من المعيار p ولمْ يكتف ادخال غالوا للجذور الخيالية في المطابقات إلى احداث توسيع مهم في نظرية الاعداد ، بل فتح الطريق الى تعميمات واسعة في القواعد التي تم الحصول عليها بفضل الطرق الكلاسيكية ضمن مسائل تشبه مجموعات المتطابقات الخطية .

الاشكال الرباعية : في نظرية الاعداد يعتبر الشكل الرباعي تعبيراً منسقاً من الدرجة الثانية بالنسبة الى المتغيرات $x , y , z , \ldots, t$ لا ترتدي الا قيماً صحيحة ونسبية تكون فيها المضاربات بذاتها أعداداً صحيحة ونسبية. وإذا كان هناك متغيران فان الشكل يسمى ثنائياً ، وعند وجود ثلاثة يسمى ثلاثياً ، الخ . والعدد المعينَ يوصف بأنه قابل للتمثيل بالشكل عندما يمكن اعطاء المتغيرات قيماً تساوي شكل العدد المعين .

ان أول فكرة في التحول ، وفي الاختزال وفي التعادل بين الاشكال الثنائية تعود الى لاغرانج (1767) ، وقد عاد ليجندر في كتابه (محاولة ، السنة السادسة ، ثم سنة 1808) الى نفس هذه

البحوث واكملها . وحسن غوس اعمال لاغرانج فكتب في كتابه « بحوث » :

« لما كان الكثير من الأشياء التي عالجناها حتى الآن ، قد سبق وعولجت أيضاً من قبل جيومتريين آخرين ، فاننا لا نستطيع السكوت عن أعمالهم . لقد قام لاغرانج ببحوث عامة حول الأشكال وتعادلها (1773 و 1775) حيث اثبت بشكل خاص انه ، بالنسبة الى مطلق محدّد معين يمكن العثور على عدد متناهٍ من الأشكال بحيث ان أي شكل من ذات المحدد يتعادل مع أي واحد منها ، وانه قياساً على ذلك ، فان كل اشكال محدد معين يمكن ان تتوزع طبقات . . . . وبعدها اكتشف ليجندر عدة سمات أنيقة في هذا التصنيف ، إنما كانت في معظمها عن طريق الاستقراء ، ونحن نقدمها مع التبيينات ثم ان احداً لم يفكر حتى ذلك الحين بالتمييز بين التعادل اللائق المناسب وغير المناسب الذي يعتبر استعماله حساساً في البحوث الدقيقة .

ان المسألة الشهيرة ، وهي العثور على كل الحلول ، وبأعداد صحيحة ، للمعادلة العامة من الدرجة الثانية ذات المجهولين قد حلها تماماً لاغرانج سنة 1767. وقد سبق لاولر من قبل ان تطرق لذات الموضوع ولكنه قصر بحثه على استخلاص كل الحلول من حل واحد افترضه معروفاً . ثم ان مناهجه لم تعطِ كل الحلول الا في عدد قليل من الحالات » .

واستمر عمل غوس يحتل المركز الرئيسي في الادب المتعلق بهذه القضية رغم ان العديد من طرقه قد بسطت عملياً من قبل ديريكلي ، وبدرجة أقل من قبل أرنتArndt ومن قبل مرتن Mertens .

في سنة 1851 طور هرميت طريقته الأساسية في الاختزال المستمر . وبدت النظرية الجيومترية التي ادخلها هـ . ج . س . سميث في سنة 1876، والمطبقة من قبله على الوظائف القياسية البيضاوية ، والمبسطة فيما بعد من قبل هورفيتز Hurwitzسنة (1894) ، ومن قبل كلين - 1896) (1890- 1896) ، ومن قبل هيبرت (1916 - 1917). وهناك غاية مماثلة توصل اليها ديديكين Dede-kind سنة (1877)وهورفيتزسنة (1881) بواسطة تعادل الاعداد المعقدة .

واعطى سيلن Selling سنة 1874 طرقاً مهمة في الاختزال ، اختزال الأشكال المحددة وغير المحددة . وفي سنة (1880) قام بوانكاريه بتوسيع ونشر طرق تمثيل الاعداد : $a + b\sqrt{D}$ ، بواسطة نقط وأشكال وبواسطة شبكات ، ثم بني في سنة (1881) وسنة (1905) لا متغيرات حسابية تجاوزية ـ ودرس كرونيكر Kronecker سنة (1883) وستوف Stouff(1889) الاختزال والتعادل بالنسبة الى أنماط خاصة من الاستبدال . ان بحوث ماركوف Markov في سنة 1879 حول الحد الاعلى لأداني الاشكال قد لخصت من قبل شور Schur وفروبينيوس Frobenius سنة 1913 ومن قبل هيبرت سنة 1916.

وبعد 1842 لاحظ ديركلي وجود اشكال رباعية مزدوجة ، في عنصر غوس الذي سوف يعالج فيما بعد وقام غوس بدراسة أولية للأشكال الرباعية المثلثة وكأنه مجرد استطراد ، بهدف تحديد عدد أنواع الأشكال الثنائية . ثم انه درس بشكل خاص مسألة تمثيل الاشكال المزدوجة بواسطة الأشكال المثلثة . وكان سيبر (1831) الأول الذي حصل على لا معادلات تتضمن المعاملات من شكل ايجابي ثلاثي في كل طبقة من تحديد معين ، وكانت طريقته وبراهينه معقدة جداً . وفي كتابٍ عن كتاب سيبر

Seeber ، قدم غوس عرضاً جيومترياً بسيطاً للأشكال الايجابية . وذهب ديريكلي (1850) الى أبعد من ذلك وعرّف متوازي الاضلاع المختصر بشكل أساسي والمطابق لكل شكل ايجابي مختزل ، حالاً بالتالي محل حسابات سيبر الالهام الجيومتري . في سنة 1850 - 1851 وضع هرميت نظريات حسابية لاختزال الأشكال الرباعية ذات المتغيرات المتعددة ، سواء كانت محددة أو غير محددة ، وبشكل خاص « اختزاله المستمر » . وبذات الوقت بدأ انشتاين دراساته حول النوع والوزن في منتظم وفي نوع ، وحول عدد الطبقات وقدم سيلن Selling في سنة 1874 طريقة جديدة في الاختزال بسطها شارف Charve (1880) ثم بوانكاريه (من سنة 1881 الى 1902) وغوت Got (1913) .

قاعدة فرمات Fermat الكبرى : جسم الاعداد الجبرية المثالية ـ أكد فرمات في مذكرات شخصية ، استحالة المعادلة المؤلفة من اعداد صحيحة $x^n + y^n = z^n$ عندما يكون $n \geqslant 3$. ولم يقترح مع ذلك أمام الجمهور الا الحالات التي يكون فيها n مساوياً 3 أو 4 .

وقد حل أولر هاتين المعادلتين ولكنه إذا كان قد استعمل بالنسبة الى 4 فقط المنحدر اللامتناهي ، فانه اضطر بالنسبة الى 3 الى حل المعادلة $p^3 + 3 = $ مكعّب .

يقول « ليس امامنا الا ان نفترض : $p + q\sqrt{-3} = (t + u\sqrt{-3})^3$ » .

هذا الافتراض التحكمي تقريباً اتاح لأولر ان ينطلق بالمنحدر اللامتناهي . الشيء الملحوظ هنا ، هو ادخال الأعداد الخيالية في نظرية الأعداد . ومسار اولر مشوب بعدم الدقة في مجال تعتبر فيه الدقة شيئاً أساسياً .

وللعثور على أرض صلبة ، كان هناك طريقان : الاولى تبقى ضمن حدود العقلاني والواقع وتؤدي الى الدراسة المعمقة للأشكال الرباعية ؛ وقد ذكرنا موجز تاريخها . والثانية اعطت مكاناً للاعقلاني وللخيالي بفعل توسيع مفهوم العدد الصحيح . وهذه الطريق الثانية تم فتحها بفضل عمل غوس سنة 1832، بعد انبعاثه بفعل دراسات حول البقايا الرباعية المزدوجة . وقد اثبت فيها ان قوانين الحساب الأولي تطبق على الأعداد الصحيحة المعقدة $a + b i$ باعتبار a و b عددين صحيحين عاديين .

إلا ان الأساليب الكلاسيكية قد اتاحت لليجندر وديريكلي وضع قاعدة فرمات Fermat عندما يكون $n = 5$ (1825) ولامي Lamé وف . أ . ليبيغ V . A . Lebsgue بالنسبة الى $n = 7$ (1840) .

في هذه الاثناء قام كومر Kummer بتبيين القاعدة بعد ان وسع فكرة الاعداد الصحيحة فاشملها الاعداد المعقدة من الشكل : $a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + \ldots + a_{n-1} r^{n-1}$.

حيث تكون الأرقام a اعداداً صحيحة نسبية و r جذراً أولياً في المعادلة $r^n = 1$. وظن لفترة انه في الجسم (العنصر) المستحدث هكذا ، كما في عنصر غوس ، ان النظرية الكلاسيكية للعوامل الأولى تتعمم تماماً . وهكذا توصل الى اثبات القاعدة . وانذره ديريكلي، ان هذا التعميم

خاطىء برأيه . وتوصل كومر ، بصورة جزئية الى تلافي الصعوبة بواسطة ابتكار الأعداد المثالية الخيالية (1844) .

وكان نفس الموضوع يهم ويشغل الفرنسيين وكان موضوع اعمال ومناقشات في كلية العلوم حيث وقع ، حوالي سنة 1846 - 1847 ، لامي وونتزل وكوشي في الخطأ الأول الذي وقع فيه كومر . وبهذا الشأن كتب هذا الأخير الى ليوفيل في 28 نيسان 1847 يقول : « . . . أما فيما خص الاقتراح التمهيدي ، فيما يتعلق بهذه الاعداد المعقدة ، ومفاده ان العدد المعقد لا يمكن ان يتحلل الى عوامل أولية الا بطريقة واحدة ، وأنك تأسف وعن حق ، في هذا التبيين ، المتهاوي ، فضلاً عن ذلك ، في بعض النقاط الأخرى ، استطيع أن اؤكد لك ان هذا التبيين لم يحصل عموماً ، طالما ان الأمر يتعلق باعداد معقدة ذات الشكل التالي : $a_0 + a_1 r + \ldots + a_{n-1} r^{n-1}$ ، ولكن يمكن انقاذه بادخال نوع جديد من الاعداد المعقدة اسميتها العدد المعقد « المثالي » . .

« وتطبيقات هذه النظرية على تبيين قاعدة فرمات قد شغلتني منذ زمن بعيد وقد استطعت ان اربط استحالة المعادلة : $x^n + y^n = z^n$ ، المتعلّقة بخاصتين من خصائص العدد n، بحيث انه لا يبقى امامنا الا البحث في مدى ارتباطها بكل الأعداد الأولى . . . » (مجلة الرياضيات الخالصة والتطبيقية ، مجلد 12) .

في سنة 1849 وضع كومر قاعدة فرمات وطبقها على كل الاعداد الاولى n والتي لا تظهر بين عناصر صورة الـ 2/(n-3) عدد أولي التي وضعها برنولي Bernoulli . في المئة الاولى ، تهرب فقط من التبيين الاعداد : 37 ، 59 ، 67 . وبعد ذلك حصلت نتائج مهمة ولكن القاعدة الكبرى التي وضعها فرمات بقيت في منتصف القرن العشرين احجية غير محلولة في العلم . الا ان اعمال كومر فتحت المجال امام نوع جديد من البحوث ، هو نوع أجسام الأعداد الجبرية . ان نظريته حول الاعداد المثالية حولها بشكل خاص ديديكين Dedekind سنة 1871 الى نظرية المثل التي بدت من اخصب النظريات .

هذه النظرية حول أجسام الاعداد الجبرية هي نهاية أعمال القرن التاسع عشر حول الجبر من جهة ، وبشكل فريد نظرية المعادلات ، وحول نظرية الاعداد من جهة اخرى . انها احدى المصادر الاكثر غنى حيث يستمد الرياضيون في القرن العشرين . نذكر من بين هؤلاء الرياضيين الذين اشتهروا بهذه النظرية : ر . ديديكين R . Dedekind ، ج . فروبينيوس G . Frobenius، د . هيلبرت D . Hilbert ، ـ الذي يعتبر تقريره حول نظرية أجسام الاعداد الجبرية (1897)بناء ذا أهمية أساسية ـ وآ . هورفيتز A . Hurwitz ، ول . كرونيكر Kronecker و هـ . ويبر H . Weber.

التوزيع المترافق للاعداد الأولى : اذا كانت قاعدة فرمات قد وجهت بوضوح نظرية الاعداد نحو توسيعات مفهوم العدد الصحيح ،ووضعتها باتصال دقيق وحميم مع الجبر ، فإن مشاكل اخرى ، من مخلفات القرون الماضية مالت بهذا المفهوم نحو نظرية الوظائف وبشكل خاص نحو نظرية الوظائف التحليلية .

ويتعلق الأمر من جهة بموضوع توزع الارقام وهي مسألة اقترحها أولر ، حول نمط المسائل الحسابية القابلة لاستعمال السلاسل الكاملة . كما يتعلق الأمر من جهة اخرى بمسائل التوزيع المترافق للأعداد الأولى (وهي مسائل اثارها ليجندر) ، مسألة وورنغ Waring (تحديد عدد التمثيلات لعدد n كمجموع لعدد من القوى k^e ايجابية) ومسألة وورنغ هذه ذات علاقة بنظرية الأشكال وبالقاعدة المستقاة من غولدباخ Goldbach (كل عدد مزدوج هو مجموع عددين أولين مفردين 1742).

وهذه المسائل أوجبت تدخل نمط من الوظائف التحليلية اشهرها وظيفة زيتا من ريمان Zéta de Riemann . من المعلوم ان السلسلة $1 + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \ldots + \frac{1}{n^s}$ تتلاقى اذا كان القسم الحقيقي من (السلسلة S) اعلى من 1. ان حده هو اذا متعلق بـ S، والوظيفة أو العلاقة زيتا المحددة بالنسبة الى القيم المتوافقة مع S .

وقد فكر غوص ، وهو ابن 14 سنة (1791) بصورة تجريبية انه اذا كان π (X) هو العدد الذي تتألف منه الاعداد الأولى الأقل منx فإنّ $\pi(x) \simeq \frac{x}{\text{Log } x}$ بالنسبة الى الاعداد الكبرى. وعمل ليجندر ، وبصورة مستقلة عن غوص ، بأسلوب تجريبي فأكد (السنة السادسة من الثورة الفرنسية) ان $\pi(x) = \frac{x}{A \text{ Log } x + B}$ ثم اوضح سنة (1808) ان $\pi(x) = \frac{x}{\text{Log } x - 1,08366}$ تقريباً .

واعتمد ديريكلي Dirichlet هذه النتيجة قبل سنة (1838) ولكنه استبدلها فيها بعد باللوغاريثم المتكامل بالنسبة الى x . وبالنسبة الى حاجات نظرية الاستبدال اعلن ج. برتران J . Bertrand سنة (1845) القاعدة التالية : بالنسبة الى كل عدد n أعلى من 6 يوجد على الأقل عدد أول واقع بين $\frac{n}{2}$ و n - 2 .وقد حققه بالنسبة لـ $n < 6 . 10^6$. وبيّن « تشيبيتشيف Tchébychev قاعدة برتران سنة (1854) وبين في سنة (1851) ان القيمة التي اعطاها ليجندر لا يمكن ان تكون قيمة مقاربة π (x) . وكان الأول في استعمال التحليلات الدقيقة في هذه المسألة ، وتبعه في سنة (1859) ريمان الذي استخدم وظيفته « زيتا » ، وهي حالة خاصة مهمة في سلاسل ديريكلي Dirichlet ، ثم استعملها فالي بوسان Vallé - Poussin ، وج. هادامار J . Hadamard، ولاندو Landau الذين وسعوا حقل البحوث بحيث شمل توزيع الأعداد الأولى المنتمية الداخلة في سلاسل معينة أو في أشكال معينة .

ويمكن من أجل حل مسألة وورنغ Waring ، البحث عن عدد g (k) بحيث ان كل عدد يكون مجموع g (k) بقوّة بـ k^e . ويمكن أيضاً البحث عن عدد G (k) بحيث ان أي عدد بالغ الكبر يكون مجموع G (k) بقوة k^e في اقصى حد .

وكان ليوفيل أول من خطا في هذه المسألة عندما اثبت سنة (1859) وبشكل بداتي ان g (4) موجود وهو أقل من 53 . وبيّن ويفيريش سنة (1909) ان $37 \leq g(4)$، ولكن في الوقت الحاضر لا نعرف أي عدد قابل للتفكيك الى اكثر من 19 مربع مزدوج .

واثبت دافيد هيلبرت سنة (1909) ، بالنسبة الى كل قيمة k ، وجود عددين g (k) و G (k). واستطاع اثبات ـ بهذا الصدد وبواسطة المتكاملات المحددة ـ وجود ـ وبالنسبة الى كل

قيمة k ـ مماثلات جبرية مشابهة للقيمة التي اتاحت لليوفيل ان يضع ويثبت وجود (4) g .

الاعداد المتسامية : منذ العصور اليونانية القديمة عرف العلماء الرياضيون الكميات غير القابلة للتجذير والتي أصبحت مع تطور المفاهيم واللغة الاعداد غير القابلة للتجذير . وكان يُشك من زمن بعيد ان بعضاً من هذه الأعداد مثل π مثلاً ، لم تكن حتى اعداداً جبرية أي انه كان من المستحيل العثور على معادلة جبرية وعلى مضاربات جذرية تكون هي جذورها .

ان لوغاريثمية الكسور المستمرة بينت لأولر وللاغرانج Lagrange ان جذور المعاملات من الدرجة الثانية يعبر عنها بواسطة الكسور المستمرة الدورية .

وفي سنة (1844) عثر ليوفيل على سمة في تطوير كل عدد جبري بحيث يصبح كسراً مستمراً ، وبيّن أيضاً انه بالامكان وضع كسور مستمرة لا تتصف بهذه الصفة ، الأمر الذي جره الى « طبقات واسعة جداً تتعلق بكميات ليست قيمتها لا جبرية ولا قابلة للاختزال في لا جذريات جبرية ». انها « الاعداد المتسامية التي وضعها ليوفيل ». واعمال جورج كانتور حول المجموعات قد اثبتت فيها بعد وجود جمهرة من الاعداد الأخرى المتسامية .

وفي سنة (1872) حصل هرميت على نتيجة اكثر دقة بمعنى من المعاني من النتيجة التي حصل عليها ليوفيل . وقد استطاع ان يثبت بكل دقة تسامي العدد e .

وبين ليندمان Lindemann في سنة (1882) تسامي π وذلك اثناء عمله في نفس الاتجاه الذي سار به هرميت .

الفصل الثالث

الاحتمالات والإحصاءات

ان الغاية الاساسية من هذه الدراسة هي تاريخ تطور الفكر الاحتمالي والاحصائي بخلال الفترة الممتدة من لابلاس وغوس إلى السنوات التي تحيط بسنة 1900 .

ان هذا الفكر قد تكون بفعل المفاهيم الجديدة . وان الكثير من هذه الأفكار الجديدة قد بدا وكأنه تقدم طبيعي في مجال المسائل التي يطرحها علم البيولوجيا وخاصة الوراثة . فضلاً عن ذلك كان هناك تصورات احتمالية شديدة العمومية اتت ، أما عن طريق الالعاب بالذات ذات الامتداد الطويل ، او عن طريق المسائل الفيزيائية . وقد درست بذاتها باكثر ما يمكن من العمومية من قبل المعنيين بالاحتمالات . وهكذا اثيرت من جديد تحسينات جديدة وقوية جداً وأدخلت على المناهج التحليلية ، التي من شأنها التلاعب والسيطرة على مفاهيم التطور الاحتمالي التي عملت عادة على إكمال وعلى اغناء المفاهيم القديمة الاكثر تعلقاً بالحتمية . . اننا سنعرض وندرس هذه المعاني المتنوعة ، وبروزها ونموها .

مفهوم الترابط : ندرس أول الأمر ، ومن هذه الزاوية فكرة الترابط ، او العلاقة الاحتمالية ، او العلاقة العرضية الاتفاقية .

من المؤكد انه بالامكان القول ان هذا المفهوم ينبثق من فرضيةالاحتمالاتالمركبة ، هذه الفرضية التي تبين ماهية الاحتمالات غير المستقلة ، وانه لا بد من التريث حتى يخرج كل شيء من هذا البذر . وكان لا بد مع ذلك من الانتظار حتى سنة 1888 - 1889، حتى يرى غالتون Galton بوضوح ، (ويعبر عن) ماهية العلاقة الترابطية ، أي الشكل أو الكيفية التي تربط قانون الاحتمالات ، في احتمال ما ، بالقيمة المفترضة والمحددة في احتمال آخر . لقد اثبت غالتون ، بالنسبة الى جمهرة من الابناء (باعتبار الاحتمال هو القامة) الابناء الذين لآبائهم قامة محددة . وبتأثير من داروين Darwin ، وبصورة خاصة بتأثير من كتابه المهم : « حول نشوء الأنواع ، عن طريق الانتقاء الطبيعي » (لندن 1859)، انشأ فرنسيس غالتون (1822 - 1911) « المدرسة الاحيائية القياسية biométrique

الانكليزية والتي تقضي بخضوع البيولوجيا للأساليب الاحصائية . ونشر في سنة 1887 كتابه « التشابه العائلي في البنية» ، ثم في سنة 1889 نشر كتابه « التوارث الطبيعي » . ويبدو بوضوح من خلال هذه الكتب ان الباحث ، (في البيولوجيا ، وفي غيرها من المجالات) يعثر فعلا ويقيس ابعاداً ليست مستقلة عن بعضها البعض . ويبدو بوضوح تام انه لا لابلاس Laplace ولا غوس بعده لم يفكرا بهذه الحقيقة العلمية :

وبالتأكيد ان نفس الشيء قد حصل بالنسبة الى برافي Bravais ، الذي كثر الكلام عنه ، في انكلترا بشكل خاص . وهناك خطأ ارتكبه كارل بيرسون Karl Pearson ، ناتج عن قراءة سريعة جداً ، تعزو الى برافي وضع نظرية الترابط . وقد تصحح هذا الخطأ ، انما بوقت متأخر جداً (1920). ان المذكرة التي وضعها برافي : « التحليل الرياضي حول احتمالات الاخطاء في وضع نقطة ما » (1846) ، تحتوي القانون العام الذي يحتوي على متغيرين او ثلاثة متغيرات ، قانون يعمم قانون لابلاس ، المدروس كثيراً من قبل غوس كقانون أخطاء ،وسوف نعود اليه فيما بعد . ويبدا برافي انه كتب وهو بشكل خاص تحت تأثير غوس وهو يعتبر ان الابعاد المقاسة تتبع قانون لابلاس - غوس ، وان هذه الابعاد مستقل بعضها عن بعض . والابعاد المبحوث عنها ، لها ، كأخطاء ، معادلات من الدرجة الأولى تمثل هذه الاخطاء المستقلة . وانه لموضوع جبري ، العثور ، بالنسبة الى هذه المتغيرات المبحوث عنها X و Y ، الشكل التربيعي الناتج عن مجموع المربعات المتأتية عن المتغيرات المستقلة m , n , p .

وظهرت حادثة ملفتة ، قد أثارت اهتمام كارل بيرسون Karl Pearson . فقد صرح برافي Bravais ، ان المتغيرات المشتركة m , n , p تدخل على Xو Y ترابطاً (وقد استعمل برافي هذه الكلمة الأخيرة) . ولكن لم يكن هناك على الاطلاق من شبيه للعلاقة الاحتمالية بين السمات المقاسة ، وارد في مذكرات غوس، (1809 - 1823) ولا في مذكرة برافي التي تستلهم مذكرات غوس .

وبالمقابل ، ادخل غالتون Galton في سنة 1877، وهو يتكلم عن « القوانين النموذجية في الوراثة عند الانسان » ، فكرة المتوسط المشروط والذي نسميه نحن اليوم (E (y/x ، امل رياضي في للعشوائي y ، عندما يعطى العشوائيx قيمة معينة . انه هنا قد تكلم عن القلب او الارتداد ، ثم عن التراجع ، لكي يميز ، في حالة وراثة القامات ، عودة الابناء الى قامة عرقهم . وهناك ظاهرة أخرى ملحوظة جداً ، هي انه ، حول المتوسط المشروط ، يكون التوزع المشروط ادنى من التشتت العام او التوزع العام . وهكذا تظهر ، في حالة هذه القوانين الأسّية ذات المعدلين سمتان رئيسيتان من سمات الترابط العرضي هما : هذا التغير في المتوسطات المشروطة (المسمّى تراجعاً) والنقص في التشتت المشروط . هذه المدرسة البيومترية ، والتي ندين لها بالكثير ، احييت بفضل غالتون وولدون Weldon وكارل بيرسون Karl Pearson واسس هذا الأخير المجلة المسماة «بيومتريكا» في سنة 1901 .

الحركة المندلية : هناك مظهر مختلف جداً في القوانين الاحصائية ، في مجال البيولوجيا ، ظهر مع غريغور مندل Gregor Mendel (1822 - 1884) ، الذي نشر ، في سنة 1865 كتاب « Versuche über pflanzenhybriden وهي نتائج التهجين الحاصل في نبات الحمص في بستان حول الدير

(يراجع أيضاً بهذا الشأن ، في الفصل الرابع من الكتاب الثاني) . ولكن أحداً لم ينتبه لهذه النتائج . ومات مندل دون ان يسمع أي صدى لما اعلنه . ولكن هذا الشيء كان يشكل ثورة ابداعية . وكان من الواجب ، للتثبت منه ، انتظار اعادة اكتشافه من قبل تشرماك Tschermak في سنة 1900 ومن قبل كورنس Correns وفري Vriesاكتشاف قوانين مندل التي اصبحت الآن أساس علم الوراثيات .

وعند اعادة الاكتشاف هذه قامت مدرسة الاحصائيين والبيومتريين ، التي درست نفس موضوع قوانين احصاء الوراثة بمعارضة المندلية معارضة شديدة . لا شك ان قوانين مندل بدت بسيطة جداً في نظر رجال اشتغلوا كثيراً وكانوا يعتقدون انهم حصلوا على نتائج أخرى .

ولكن يظهر ان نتائج القياسات التي حصلت بفضل البيومتريين كانت متفقة تماماً مع قوانين مندل ، التي قدمت تفسيراً كاملاً للقوانين التجريبية الملحوظة . وكان يكفي النظر الى القياسات باعتبارها ناتجة عن جمع عدد كبير من العناصر المندلية . وهذا ما سمي بالتحليل العواملي . وهكذا تم العثور على ـ وسنداً لنتائج لابلاس ولاحقيه ـ ان القوانين هي تقريباً من نوع ما سمي بنوع لابلاس غوس ، والقيمة التجريبية لمعاملات الترابط ، تفسر بعمومية العوامل المندلية ، ان هذه الأعمال التي بدأ بها كارل بيرسون Karl Pearson لسنة 1903، وتابعها بشكل معمق ر . آ . فيشر R . A . Fischer ، ما تزال في عز خصوبتها .

دور كيتلي : لا يمكن التغاضي عن ما قام به العالم البلجيكي أدولف كيتلي (1796 - 1874) Adolphe Quetelet في مجال الظاهرات الجماعية الاحتمالية . جاء كيتلي الى باريس سنة 1823 ليسرود تمراجع حول علم الفلك ، فتعرف على فورييه Fourier ، وبواسون - Pois son ، ولاكروا Lacroix وعلى فكر لابلاس . وسوف نعود الى ما سمي بقانون الاعداد الكبرى ، والذي طور بواسون سمته العامة . وعاد كيتلي متحمساً لحساب الاحتمالات وللقوانين التي أحس بها في العالم المجتمعي . لا شك ان هذا الأمل كان صحيحاً تماماً في مجمله وان الاحصاء ، ومراقبة الجماهير يجب ان تكشف في الغالب منتظمات احصائية ، سواء في المتوسطات ام في بنية التوزيعات .

وكان لكيتلي Quetelet تأثير مدهش وفعالية قصوى في تشكيل الجمعيات الوطنية والدولية في الاحصاء وكان له فضلاً عن ذلك موهبة أدبية عظمى ، وأيضاً الكثير من الجاذبية ، مع قدرة عظيمة على العمل مسخرة لخدمة فضول علمي واسع جداً . وقد نجح في بعض الأحيان نجاحاً جيداً في ادخال بعض المفاهيم مثل مفهوم « الميل الى الانتحار » . وكان شديد الاهتمام بهذا النوع من الكائن الاصطلاحي في المجتمع الذي أسماه « الرجل العادي » . وهزىء منه جوزيف برتران Joseph Ber- trand وحتى باسلوب ذكي وفكري ، ولكن بالامكان الأخذ على جوزيف برتران انه لم يرَ ان الانسان العادي فيه شيء مهم جداً .

ويمكن الابتسام عندما نسمع كيتلي يقول لنا : « ان الصندوق الذي نستجوبه هو الطبيعة» ولكن وكما لاحظ كينز Keynes ، يضطر المرء الى التفكير العميق نوعاً ما ان عرضت عليه هذه الملحوظة : « الطبيعة التي نستجوب هي صندوق » .

قانون الاعداد الكبرى : ان الظاهرات الاحتمالية تشكل احدى الاهتمامات عند جاك برنولي Jacques Bernoulli ، وهناك اهتمام آخر ، يمكن ان يستفاد من كتابه « Ars Conjectandi » وهو هذا الفن القائم على التصويب والذي نسميه اليوم نظرية القرار . وبالنسبة إلى الأوائل الذين ظهروا في الاحداث المكررة غالباً ، في دراسة المجتمعات الإحصائية كثيرة العدد، بدا جاك برنولي انه الأول الذي بين اقتراحاً أساسياً (يسمى احياناً قانون المصادفة) ويمكن الافصاح عنه بما يلي :

ان دوام النظر لمدة طويلة في تجربة حول الاحتمال الثابت الدائم P ، وذلك بتحديد مطلق تقريب حول P ، وان بنينا التواتر الملحوظ f (نسبة النجاحات الى عدد التجارب) ، يمكن ايضاً جعل الوحدة بقدر الامكان اكثر قرباً من الاحتمال ، احتمال رؤية هذا التواتر يقترب من P بالشكل المحدد .

وقامت مبادرات طبيعية تطبق تحديداً هذه القاعدة من الرياضيات . وقد بين دي موافر De-Moivre ، الذي كتب حول هذه المواضيع ، ابتداءً من سنة 1711 كتابه المسمى « فن الافتراضات » الذي ظهر بعد موته ، اي في سنة 1713 ، بين بدقة اكبر ، في سنة 1733، ان قانون المقاربة ، مقاربة الفارق الضئيل ، كان القانون الذي سمي فيا بعد ، وفي أيامنا ، « قانون لابلاس Laplace وغوس Gauss . انه القانون الأول للأعداد الكبرى ، ولكن هذا الأسم الذي أطلقناه عليه أدخله بالفعل بواسون Poisson في كتاب له من سنة 1837 ، بعنوان : « بحوث حول احتمال الأحكام في المادة الجنائية وفي الشأن المدني » ، وهذه البحوث كانت مسبوقة بقواعد عامة في حساب الاحتمالات . وبقول آخر ، ان عنوان هذا الكتاب الذي يدل بدون شك أولاً على المواد التي كان بواسون يفكر فيها والتي عليها يعلق قرّاؤه الأهمية الاكبر ، هذا العنوان يدل الى أي مدى وجه كوندورسي Condorcet في هذه النقطة لابلاس ، بواسون وكذلك لاكروا ، وكورنو .

ولكن بواسون في هذه الكتاب ، قد شدد على تعميم النتائج التي وصل اليها برنولي ، وموافر Moivre ولابلاس . وسماها « قانون الاعداد الكبرى » وفي كتابه أوضحها تماماً عندما كتب المعادلات . ولكنه عندما تكلم عنها ، أعطاها أوسع مجال ، قائلاً ان القليل من الظاهرات يمكن ان يحيد عن هذا القانون : « ان الأشياء من كل نوع تخضع لقانون كوني شامل يمكن تسميته قانون الأعداد الكبرى ، ثم ، من هذه الأمثلة الكثيرة التنوع ، ينتج ان القانون الشامل لكل الأعداد الكبرى هو بالنسبة الينا حدث عام واكيد ، ناتج عن تجارب لا يمكن تكذيبها أبداً » («البحوث»ص 12 وص 146 وما يليها) .

ونفهم الآن الحماس الذي أصاب فكر كيتلي Quetelet عندما أقام في باريس . رغم انه كان هناك مجال للحذر أحياناً . من المعلوم ان بواسون كان يدافع بقوة عن حسابات لابلاس حول كتلة جوبيتر Jupiter، وكذلك عن الوضوح المعلن من قبل مؤلف كتاب « الميكانيك السماوي » هذا الوضوح الذي تبين في ما بعد انه مبالغ به . وانه بهذا الشأن قال بوانسو Poinsot البارع كلمة عن حساب الاحتمالات هي التالية : « بعد احتساب احتمالات الخطأ ، يتوجب احتساب احتمال الخطأ في الحساب ». من المؤكد دائماً انه ، وبحسب الشكل الذي قدمه برنولي بدا قانون الأعداد الكبرى

راسخاً تماماً ، بفضل المدخل المعزو الى موافر Moivre حول التكاملية : $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-t}^{+t} e^{-\frac{x^2}{2}}dx$

لابلاس Laplace ونظرية الأخطاء : ان القانون نفسه سوف يبدو بشكل أعم ، ونتيجة برنولي ليست الا حالة بسيطة من حالاته . وان نحن فكرنا بأصل الأخطاء ونشأتها ، اخطاء القياس، يمكن الظن ـ وهنا تكمن فكرة كبيرة قال بها لابلاس ـ ان مطلق قياس يمكن ان يرتبط بالظاهرات الجماعية الاحتمالية . وبالفعل ان الكمية المنظورة ، سواء كانت قياساً توبوغرافياً أو جيوديزياً ، او اشعاعاً كاملاً من كوكب ما ، الخ . هو ، بالنسبة الى كل واحد من القياسات ، خاضع لتفاعلية شديدة التعقيد والتحرّف ، بحيث ان كل قراءة ، في الواقع ، تعمل عملها في كائن ينتمي الى جمهور ضخم من الصور الممكنة . لا شك ان هذه الصور متقاربة من بعضها نوعاً ما ، انما في تفاعلية من الانتاج الصناعي ، وهي بالضرورة مشوبة بفروقات بسيطة ، وهو ما يسميه لابلاس الاخطاء الأولية . وانه هنا تظهر عبقرية لابلاس ، ورغم ما نعرفه عن عبقرية غوس الضخمة ، هناك تفوق واضح حول هذه النقطة . في البداية هناك تصور واضح لعملية محددة ممكنة . وفضلاً عن ذلك استطاع لابلاس ان يعتقد ان هذا التراكم في الأخطاء الأولية يمكنه ضمن شروط معتدلة ، ان يؤدي الى قانون شامل صالح بالنسبة الى نتيجة الجمع ، جمع العدد الأكبر من الاحتمالات . وقد فتح لابلاس ، الذي بدا انه فكر في هذه المسألة من سنة 1780 الى 1810 ، واكتشف درباً خصبة هي درب القوانين القصوى لقانون الاحتمالات المتغير ، حيث كان موافر Moivre قد قام بالخطوات الأولى . وقد تبعه تشيبيتشيف Ttchébychev (1821 - 1894) ، وماركوف Markov، وليابونوف Liapounov، الخ . والبحوث في هذا المجال ما تزال ناشطة للغاية .

لقد كان لابلاس صاحب فضل كبير في هذه الملاحقة العنيدة لانه سبق ان اعتبر امكانية وجود قانون حول اخطاء الملاحظة ، ذا شكل اولي : $\frac{1}{2}e^{-\frac{|x-m|}{s}}\frac{dx}{s}$،

وفيها يكون m هو الكمية و s هو مقياس الدقة . أما القانون الأخر فهو : $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-m)^2}{2s^2}}\frac{dx}{s}$

ولهذا تسمى المعادلتان القانون الأول والقانون الثاني ، قانونا لابلاس (ويقصد بها اخطاء الرصد والملاحظة) .

وأعطى لابلاس عن قاعدته تبيناً (عن طريق الدالات المميزة) هو واحد من التبيينات المعروضة اليوم . لا شك ان الطريقة الحالية تتميز بدقة لم يصل اليها لابلاس . ولكن العمل كان قد بدأ . وقام ماركوف (1912) بتبسيط وتوسيع التبيين الأول الدقيق الذي قدمه تشيبيتشيف سنة 1887 . نشير ايضاً انه في سنة 1783 اقترح لابلاس ان يضع جداول للدالة $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}}dx$

وكما قال كارل بيرسون ، لقد عرف لابلاس ، منذ ذلك الحين ، ان هذا هو قانون احتمالات يستحق ان يخصص له مكان .

التلاقي العرضي : ان التعبير الأول عن قانون الأعداد الكبرى ، حيث يتركز قانون احتمال

التردّد العشوائي f_n اكثر فأكثر حول p، ان هذا التعبير الأول قد أدخل شكلا من التلاقي يختلف تماماً عن التلاقي العادي في سلسلة ما متجهة نحو حد . وهنا ان مطلق فرق محدد لا يمكن تجاوزه الا ضمن نوع من الاحتمال ، صغير اذا كانت التجربات متعددة . ويقال بوجود تلاقي في pاحتمالاً لِـ f_n نحو p (اذا كان التعبير عضرياً ، فان الفكرة تعود الى برنولي) .

ولكن قد توجد أيضاً تلاقيات عرضية أخرى .

لقد بين دي موافر ، وهو البادىء في هذا ، ان قانون احتمال المتغير المخفض $\xi_n = \frac{f_n - p}{\sigma/n}$ يمتلك قانوناً حدودياً أقصى .

ان الاحتمال $P[\alpha \leqslant \xi_n \leqslant \beta]$ له حد هو : $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_\alpha e^{-\frac{x^2}{2}} dx$.

هذا التلاقي في القانون هو ايضاً فكرة قديمة جداً .

وبالمقابل لم يظهر شكل آخر من التلاقي ـ بدا من الطبيعي جداً اخذه في الاعتبار ـ الا بعد ذلك بكثير . ونشير اليه هنا قبل ان نعود الى هذا الموضوع ، حين سنتكلّم عن الاحتمالات ذات الأبعاد اللامتناهية العدد .

ان سلسلة لامتناهية من المتغيرات الاحتمالية ، يمكن التعبير عنها بالعبارة : $A(n\,\alpha)$ ، باعتبار ان n هو مؤشر صحيح و α يشير الى ان مطلق عملية احتمالية قد قدمت قيمة A . ضمن هذه الشروط قد لا يحصل او يحصل انه ـ بالنسبة الى α معينة ـ تكون n متغيراً ، ويكون A ذا حد بالمعنى العادي للتحليل . هذا التلاقي بالنسبة الى $(n\,\alpha)$ A ، ونزوعه نحو احتمال $A_0(\alpha)$ ، هذا التلاقي هو بذاته حدث احتمالي ، نثبت انه يمتلك حقا احتمالا . هذا الاحتمال يمكن ان يكون صفراً أو واحداً ، أو قيمة واقعة بين الحدين . في الحالة التي يكون فيها احتمال التلاقي متساوياً للوحدة يقال ان $A(n\,\alpha)$ ، هو احتمال اكيد التلاقي ، والتلاقي الأكيد تقريباً والمحدد على هذا الشكل ، جديد ، لأنه يجر وراءه تلاقي الاحتمال دون ان يكون مجروراً بهذا التلاقي .

وعندها يمكن اثبات ان التواتر f_n يمتلك هذه الخاصية . فهو ذو احتمال مساوٍ للوحدة نزاع للتلاقي نحو القيمة p . وعندها نحصل على قانون جديد للأعداد الكبرى يسمى القانون الأقوى للأعداد الكبرى .

ان خصائص التلاقي في الاحتمال ثمينة جداً . وقد وسع تشيبيتشيف خصائص التواتر المتغير f_n بحيث شملت متغيراً احتمالياً اكثر عمومية ، إنما يمتلك انحرافاً نموذجاً . ان القيمة الوسطى لعدد n من القيم وهو $\frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$ يلتقي عندها، بالاحتمال، وينزع نحو الأمل الرياضي $E(x)$ دالاً على الدور الاساسي لـ $E(x)$. وهنا توجد عمليات خطية . وبصورة اكثر عمومية ، ان فكرة التلاقي في الاحتمال ، لا تتغير ضمن تحول دقيق ومستمر . وهذه الخاصية الأخيرة ، وكذلك التلاقي القوي للقيمة الوسطى ، هما لاحقان للحقبة التي نحن ندرسها . ويوجد اخيراً نوع من التلاقي مفيد وسهل للغاية هو التلاقي في المتوسط .

فلنعرف التلاقي في المتوسط مثلاً بالنسبة إلى المتوسط الرباعي. يتجه العشوائي نحو الصفر بالمتوسط الرباعي ، وذلك اذا اتجهت ($E(A^2 (n \propto$) نحو الصفر مع $\frac{1}{n}$. ويمكن تعريف هذا التلاقي عندما تكون القدرة مطلقة ، ولكن المتوسط الرباعي هو الاكثر استعمالاً .

هذا التلاقي في المتوسط يؤدي الى التلاقي في الاحتمال . وهنا أيضاً تبدو الكلمة حديثة نسبياً ولكن فكرتها تعود الى بينامي Bienaymé المفتش العام في المالية ، وصديق أوغسطين كورنو Au-gustin Cournot .والى تشيبيتشيف يعود الفضل أولاً باستعمال اللامعادلة التي بيّنها بينامي Bienaymé - في التبيين الأكثر بريقاً لقانون الاعداد الكبرى ، او تقاربية احتمالية f_n من p . ان التقاربية في المتوسط الرباعي ، السهل الاستعمال ، تلعب دوراً مهماً في تطبيقات الفيزياء .

ريازات (test) الفرضيات الاحصائية : ان الهدف المقصود بالرصد ، والتفكير وابداع المفاهيم الجديدة هو فهم العالم بصورة أفضل فأفضل ، ونريد ان نؤمن ونحسن النماذج التي نكونها لنفسنا عن الواقع وعن مختلف نشاطاته وعن ترابطها . لأننا نريد ان نشرح اسلوب تطورها ، ثم التنبؤ بصورة أفضل ما امكننا ذلك . وبناء عليه بنيت الرياضيات وما تزال تبنى ، وكذلك الفيزياء والميكانيك وعلم الفلك والكيمياء . . .

كيف يجري العمل ؟ بالملاحظة وبالتجربة . ثم بمحاولة تطبيق الأفكار المحفوظة من زمنٍ أو بالتخلي عنها . في فرنسا القديمة التجربة تعني المحاولة وتعني التلمس . هذه التجارب أو المحاولات هي الريازات التي بها يتأمن التقدم في المعرفة العلمية . وهناك قانون جديد جاء يندمج في هذه المعرفة عندما تكون متوافقة مع كل الملاحظات . ولكنه يخسر موقعه كقانون عندما يتعارض مع الملاحظة . وبقول آخر اذا نتج عن النظرية استحالة واقعة ، فان رصد هذه الواقعة والتحقق منها يوجب التخلي عن النظرية . وهكذا تذبل وتزول بعض القوانين عندما تزداد دقة المقاييس . ان دوران الأرض حول نفسها مثلاً ليس دوراناً منسجماً ، ودراسة تأرجحات السرعة تتقدم بزيادة دقة مقاييس الزمن ، وكذلك فان القانون الأساسي الذي شكله قانون نيوتن ، والمتلائم بشكل مدهش مع الظاهرات الفلكية لم يستطع ان يفسر الحركة الرأسية في عطارد، واذاً يجب التجلي عنه . ولكن من الناحية العملية يمكن الاحتفاظ بهذا القانون في عدد كبير من الحالات حين يبدو اقتراباً ممتازاً من النسبية العامة . ويدلنا هذا المثل على أن الحكم المرسل حول قياس ما ، إنما يتعلق بدقة هذا القياس .

ولكن قد يحدث ان يعرض لنا اصدار حكم مختلف جداً اذا تعلق الأمر ، لا بكمية محددة بدقة ، بل كما يقال غالباً بكمية تؤثر فيها المصادفة . وعندها تصبح المسألة المطروحة كما يلي : هل نستطيع المصادفة ان تصنع ما نحن نرصده ؟ وعندها يتوجب التوضيح الدقيق . لقد شاهدنا سلسلة من ضربات زهر النرد . ان لعبة الزهر مشروعة اذا كانت حبات الزهر جيدة الصنع واذا كان أسلوب اللعب صحيحاً. واللعبة التي رأيناها هل كانت شريفة ؟

هذه طرفة بهذا الشأن رواها ديدرو Diderot ،وقد استعادها جوزيف برتران Joseph Bertrand:

وذات يوم ، وفي نابولي ، اخذ رجل من البازيليكات ، وبحضور الاباتي غالياني ، يخض ثلاث قطع من الزهر ضمن قرن ، وراهن على انه يستطيع جلب جملة من الوجه سته . وحقق ذلك في الحال .

وقيل ان هذا الحظ ممكن ، ولكن الرجل نجح مرة ثانية ، وقيل نفس الشيء . ثم وضع الزهر في القرن ثلاث مرات واربع مرات وخمس مرات وكان الزهر يعطي كل مرة سته . فقال الاباتي إن الزهر ملغوم أي انه مصنوع بشكل واحد، وكان الأمر كذلك » . وهنا بما ان اللعب كان عن طريق القرن كان الدور للزهر فقط . وعندها اصبحت الفرضية الاحصائية القائمة على اللعبة الشريفة غير ثابتة ، أمام واقعة احتمالها ، أو أساس اللعبة الشريفة ، يعادل $\frac{1}{6^{3n}}$ وذلك في النجاح الذي ذي الرتبة n .

وحدثت صدفة مماثلة تقريباً لولدون Weldon الذي رمى الزهر 315672 مرة فحصل على 106602 نجاح وذلك بالنسبة الى حدث (وقوع خمسة أو ستة) ظن هو ان احتماله يعادل $\frac{1}{3}$ ان القيمة المحتملة هي 105224 والفارق الملحوظ هو 1378 (احتمالية $\frac{2}{10^7}$ ويمكن التساؤل هل ان المصادفة تنجح هذا .

ونرى اننا نحاول تعميم المسرى المتبع بالنسبة الى قانون النمط الكلاسيكي ونتخلى عن هذا المسعى ان رأينا حدوث ما يعتبره هو مستحيلاً . وهنا نريد ان نرفض قانوناً عندما تحدث حادثة يقول عنها القانون انها قليلة الاحتمال .

ولكن ما هي الحادثة ؟ الفارق بالذات ليس هو الذي احتماله مستحيلاً . أننا نقرن به مجمل الفروقات الأكبر ، وعليه نبني قرارنا وكهاتيينّ في ما بعد ، وبعد تكوين مجموعات أخرى من الرفض ، نتعرض لخطر مزدوج والفرضية المرفوضة يمكنها ان تكون صالحة أيضاً ، لان احتمالية الحدث ضئيلة ولكنها ليست معدومة . وهنا لا تكون المخاطرة كبيرة . ولكن عدم رفض الفرضية ، اذا كان الفارق أقل من 1378، هو مخاطرة ثانية خطيرة للغاية ، لأن مثل هذا الفارق يتلاءم مع قيم من الاحتمال تختلف كثيراً عن $\frac{1}{3}$.

ومهما يكن من أمر إذا كان H هو الفرضية و E هو الحدث المنتمي الى مجمل في دراسة الرفض ، فان الاحتمالية لكي تحقق الملاحظة هذا الحدث ، هي (P (E / H . انها أي الاحتمالية متعلقة بِ Eبالنسبة الى H ، وهذه الاحتمالية صغيرة جداً ولكنها لا تترك . ولكن بعد تثبيت الحدث E، تصبح P تابعة لِ H . ويمكن عندها تسميتها واقعية H عندما تحدث E اي تقع . ولكن الريازات الأولى كانت شبيهة بريازة ولدون . وسلوك السلاسل الاحصائية، اذا قورن بسلاسل سحوبات برنولي ، قد سبق ودرس كثيراً من قبل دورموا Dormoy(1878) ولكسي Lexis (1886) اللذين اعطيا تشتت مختلف الظاهرات الديموغرافية واللذين حكما اجمالاً بأن هذه التوزعات الكبيرة جداً تتطلب بنية اكثر تعقيداً أي تتطلب فرضيات احصائية أخرى ، غير مجرد السحب الذي أجراه برنولي .

ولكن العمل الذي تفوق جداً على الأعمال الأخرى بفضل اتساع تطبيقاته ، هو عمل كارل بيرسون : « حول طريقة التقرير ، في حالة نظام من المتغيرات المترابطة ، على ان مجملاً معيناً من الإنحرافات ، بالنسبة الى القيمة المحتملة هو بحيث يمكن ، عقلاً ، افتراض حصوله بفعل عينات تختار مصادفة » هذه هي المسألة : هل المصادفة استطاعت ان تفعل هذا ؟ ان الأمر يتعلق واقعياً بالتعميم ، الجيد الصنع ، تعميم فكرة الإنحراف . ويستخدم هنا نوع من الانحراف الرباعي الشامل

من بين الحصائل المتوفرة والمتوقعة . ويلعب χ^2 الدور الذي يلعبه الانحراف في قيمته المطلقة ، والمجمل E الذي عليه يرتكز الحكم هو من نمط $\chi^2 \geqslant \chi_0^2$. إنّ فائدة اختيار χ^2 تقوم على امكانية حصول قانون احتمالها .

ان قانون الاحتمال هذا قد عثر عليه هلمرت Helmert سنة 1876 ، ولكن الفضل الأكبر الذي يعود الى كارل بيرسون يقوم على العثور عليه بعد بحث منهجي حول روازات الفرضيات الاحصائية ، وعلى تبيانه للدور الضخم الذي يلعبه القانون في هذه الفراضيات .

والواقع أن المشكلة الحقيقية هي في أغلب الأحيان اصعب من ذلك قليلاً ؛ ان روازة χ^2 لا تطبق أحياناً الا اذا خصصنا بصورة كاملة القانون الذي تراد روازته وقد يحدث كثيراً ان يتضمن القانون المراز مقاييس ثابتة ، من ذلك مثلاً حالة تجربة ولدون . ان فرضية الاحتمال 3/1 غير قائمة ، ولكن يمكن الطلب إلى المشاهدات ان تقوم بتقدير هذا الاحتمال ثم في ما بعد النظر هل اصبح التوافق كافياً . وفي ما بعد قدم ر . آ . فيشر R . A . Fischer المقترحات والقواعد التي تطبق على هذه الحال (1922 ــ 1924) . ويطرح السؤال غالباً بمناسبة هذه الروازات للفرضيات الاحصائية ، وهل هناك فرق ذو قيمة بين النتائج الحاصلة والنتائج المتوقعة .

مثلاً ، وبسبب الدور الذي يلعبه معامل الترابط في البحوث البيومترية نسأل انفسنا ، وذلك في حالة النظرية التي تعطي معاملاً r قيمته 0,52 ، ومجموعة مؤلفة من 100 (مئة) ملاحظة تعطي القيمة العملية r′ = 68 , 0 ، فهل يكون الفرق ذا قيمة أو لا .

مثل هذه المسألة تقتضي معرفة قانون احتمال هذه القيمة التجريبية الممكنة ثم تطبيق رائز عليها .

وقد حصل في اغلب الاحيان ، ان قوانين الاحتمال كانت من نمط قانون لابلاس ، فأعطت روازة مماثلة لروازة ولدون الحل . وفي الحالة التي تهمنا ، لم يستطع احد قبل ر . أ . فيشر (1915) R . A . Fisher ان يعثر على قانون احتمال r′ ، وحتى بعد امتلاكه هذا القانون ، اضطر ر . أ . فيشر ان يخصص جهوداً جدية لوضع متغير شبيه تقريباً بمتغير لابلاس من شأنه ان يسمح بالتطبيق الكلاسيكي . ونرى كيف ان مثل هذه المسائل ، ذات التصور الواضح نوعاً ما ، يمكن ان تعترضها الصعوبات في حلها . وسوف نعود اليها في الدراسة المخصصة لعلم القرن العشرين .

منطق الاحتمال : لا شك ان لابلاس ، منذ بداية انتاجه ، رأى نظرية الاحتمالات كفرع من المنطق . وفي الاستنتاج من كتابه « محاولة فلسفية حول الاحتمالات » (1814) كتب يقول : « نرى في هذه التجربة ان نظرية الاحتمالات ليست في أساسها الا الحس السليم مطبقاً في مجال الحساب » وأضاف يقول : « نلاحظ بعد ذلك انه في الأشياء ذاتها التي لا يمكنها ان تخضع للحساب ، تعطي نظرية الاحتمالات المنافذ الأكثر وثوقاً التي يمكنها ان ترشدنا في أحكامنا » .

ولاحظ ج . بوليا G . Polya بوليا بصواب كلي ، في هذا الموضوع ما يلي : « لا يمكن نسيان الحدث التاريخي ومفاده ان حساب الاحتمالات اعتبره لابلاس والكثيرون غيره من الطليعة العظام

وكأنه التعبير القريب عن قواعد الاستدلال المحتمل » (ج . بوليا ، نموذج عن الاستدلال المحتمل ، برنستون Princeton ، 1954 ، ترجمة فرنسية بعنوان الرياضيات والتحليل العقلي المحتمل ، باريس 1958) .

وليس لنا ان ننحني بالضرورة أمام الواقعة القائمة على ان هؤلاء المفكرين الكبار يعطون لحساب الاحتمالات ما يسميه بوليا منطق الاستدلال الممكن ، أو مسألة درجات الاعتقاد ، بل يجب علينا ، حسب ما أعتقد ان نأخذها في الحسبان .

ان حساب الاحتمالات يمتاز بنجاحاته الكبرى في مجال ترتيب المظاهرات الجماعية حيث يسود عدم اليقين الفردي. فهل سنطيع هذا الحساب الايحاء بالأمل في سيادة النظام في هذا المجال المختلف جداً ؟ كما يلاحظ بوليا ، لا يوجد هنا صعوبات مسبقة ، فالرياضيات تستخدم في أغلب الأحيان مبادىء متشابهة جداً ، ومناهج ومعادلات تكاد تكون واحدة ، من أجل حل مسائل تبدو مختلفة اختلافاً كلياً .

يذكر أوغسطين كورنو Augustin Cournot بهذا الشأن « المعنى المزدوج لكلمة احتمال التي تتعلق مرة ببعض قياسات معارفنا ومرة أخرى بقياس امكانية الأشياء ، بصورة مستقلة عن المعرفة المتكونة لدينا عنها » (عرض نظرية الخطوط والإحتمالات ، 1843 ص : 4) .

في كتاب العلم والفرضية ، طبق هنري بوانكاريه Henri Poincaré صيغ حساب الاحتمالات (في الواقع صيغ احتمالية الأسباب) على مسألة سيكولوجية : لقد تلاعب فلان بالمَلِك في لعبة المَلِكِ فهل يعتبر مخادعاً ؟ توصل بوانكاريه عن طريق الصيغ القصوى في القيم العددية الى نتيجة مفاجئة. وبين أميل بوريل Emile Borel (في الخط) انه ضمن فرضيات معقولة نوعاً ما تصبح النتائج العددية متجانسة مع الحس السليم . وهذا يعني انه بالأمكان الشك في امكانية تطبيق نظرية الاحتمالات ، انما ضمن شرط عدم اعطاء أهمية كبيرة جداً لقيم عددية قاطعة ، ونظرية الاحتمالات قد تبدو مرشداً جيداً في إنجاح بعض المساعي المنطقية وفي بعض الأحكام . وصيغ الاحتمالات المركبة واحتمالية الأسباب يمكن ان تعتبر معقولة ضمن تطبيقات تطبق على شيء آخر مختلف عن المظاهرات الجماعية المحتملة الوقوع .

من الواضح أولاً ان نظرية الاحتمالات ، احتمالات الأسباب ، منذ محاولة توماس بايس Thomas Bayes (وقد نشرت بعد مماته من قبل برايس سنة 1764)وتبعتها توسيعات لابلاس Laplace. ان هذه ، النظرية تهدف الى المسألة العامة المتعلقة في تقدم المعرفة وليس الحساب العددي في بعض الاحتمالات وكذلك الحال في بحوث بول Boole : قوانين الفكر ، 1854 ، مسألة مطروحة في نظرية الاحتمالات ، 1851 . وبصورة خاصة « مسألة تحدي بول » (مجلة كمبريدج ودوبلن للرياضيات ، 1851)تطرح هذه المسألة من جديد مسألة بايس Bayes ، انما بعد تناسي شرط (السببان قد يتواجدان بان واحد) ؛ ان حل هذه المسألة مستحيل ، من جراء هذه الواقعة ، ولم يكن لدى بول الفكرة الواضحة عن الاستقلالية ، فقدم تفسيراً خاطئاً . ولكن من الواضح جداً أنّ مسألة المنطق هذه صعبة للغاية بحيث لا تترك لمجرد الحس السليم .

وعلى هذا يمكن تجريب قاعدة الاحتمالات المركبة .

نأخذ المسألة الكلاسيكية مسألة المسعى العلمي والتقدم والبحث . يطرح التساؤل حول صحة A . ولكن A يتحكم بـ B . وقد اجريت التجربة فتبين ان B صحيحة . وخارجاً عن هذا الارضاء ، ماذا يمكن القول من جديد حول A ؟

ان الفرضية القائلة بأن A تتحكم بـ B تعني ان ، في المجمل الاساسي H ، كل العناصر التي لها خاصية A لها ايضاً خاصية AB . من ذلك ان المجمل الثانوي A موجود في B ، ويمكننا ـ نظراً لان B صحيحة ـ اعتبار مجمل جديد أساسي B .

في الرسيمة المدرجة ، يعتبر A مجملاً ثانوياً من B التي هي مجمل ثانوي من H . ونرى ان H متكونة من A التي هي أيضا A B ، وتحلل الى $\bar{A}$ B والى $\bar{A}\,\bar{B}$. لا يوجد مجموعات ثانوية $A\bar{B}$ ، وهذا ما تترجمه الفرضية . وحتى اذا لم يجري الكلام عن احتمالات (اي عن قياس اضافي محدد فوق نوع من الحلقة من المجموعات الثانوية)، ويكتفى بكلمة اكثر حيادية ، مثل الحصة الملحقة بمجموع ثانوي،وغير متنازلة مع هذا المجمل الثانوي ، يبقى علينا البحث عن القيمة الجديدة التي يأخذها A مشروطاً بـ B. من الواضح ان ما يمكن تسميته بالحضور النسبي لِ A في B يتجاوز حضور A في H .

ونكون واصلين الى وظيفة π من المجموعين تتزايد مع A ،عندما تكون B ثابتة ، كما تتزايد ،عندما تكون A ثابتة، عندما تتناقص H.

وكما هو طبيعي ، اذا كانت حصتنا تترجم الحضور النسبي ، أما لـ A في H ، واما لـ B في H ، وأما لِ A في B، ان هذه الحصة المشروطة ب B لا يمكن الا ان تكبر بالنسبة الى A في H . ان قاعدة الاحتمالات المركبة ترد الى تعريف الاحتمال (P (A / B H) مع استخدام القياس المحدد ضمن H ومع وضع : $P(A/BH) = \frac{P(AB/H)}{P(B/H)}$. وبالطبع ان هذه الحصة الخاصة تمتلك أبسط وسيلة للكبر مع مجملها الثانوي لأنها اضافية. وعندها نحصل عن طريق المعادلات الكلاسيكية :

$$AB/H = A/H.B/AH = B/H.A/BH \quad \text{على} \quad B/AH = 1$$

لان B مجرورة بِ A وأخيراً : $A/BH = \frac{A/H}{B/H}$



ان الاحتمالية الجديدة تتجاوز القديمة شرط ان تكون $B(H) \neq 1$ وبقول آخر ان تكون B غير مضمونة سلفاً . وليس من شك ، كما قال بوريل ، ان مثل هذه النتيجة يمكن ان تتوافق مع الحس

السليم . وتطبق عادة ، سواء في البحث العلمي أو في البحث عن المجرم او عن براءة متهم ، أو في السلوك اليومي . ان تقوية الاحتمالية تمكن بالتأكيد متابعتها في حال وجود سلسلة متتالية (B_1 , B_2 , ... , B_n) هي تاليات لِـ : A على اعتبار ان B_n ليست مجرورة بِـ B_1 , B_2 ,... ,B_{n-1} . تشير ، بعد بوليا Polya إلى استعمال تحليل ممكن واحتمالي مماثل استعمله بحارة كريستوف كولومب : « اذا كانت السفينة قريبة من الأرض ، فاننا نرى طيوراً في أغلب الأحيان . واذا كانت السفينة بعيدة عن الأرض فان رؤية الطيور تكون أقل . ونحن نرى الآن طيوراً فمن الأكثر احتمالاً ان نكون اكثر قرباً من الأرض » . ومع بعض من خيبة الأمل ، وبعد رؤية الطيور ذات يوم من الأيام ، بدت الأرض في اليوم التالي أي في 12 تشرين الأول 1492 . (ج . بوليا ، نموذج من الاستدلال الاحتمالي ، مجلد 2 ص 37) .

الميكانيك الستاتيكي والنظرية التحركية في المادة : ان النجاحات الكبرى في الفيزياء الرياضية الكلاسيكية : الهيدروديناميك ، المطاطية ، الترموديناميك والطاقوية لم تنس الفرضية الذرية . والحق يقال ـ وباستثناء الكيمياء ـ كان بالامكان تماماً ، حسب الاعتقاد الشائع ، الاستغناء عن الذرات ، وعن كل فرضية حول حقيقة الجزئيات التي تشكل المادة . ومنذ منتصف القرن التاسع عشر ، وفي ذهن بعض علماء الفيزياء (مثلاً عند ماكسويل Maxwell) في كتابه بيان حول نظرية الحركة في الغازات ، 1859) ، فرضت نفسها البنية غير المستمرّة للمادة . وعلى كل لم تتضح ضرورة النظرية وجدواها ، في اعين الفيزيائيين ،معظمهم ،الا حوالي سنة 1900 تقريباً . (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة ج . الارد . G . Allard ، الفقرة 9 ، الفصل السادس من القسم الثالث) .

لقد اهتم ج . ك . ماكسويل (1831 - 1879) اهتماماً شديداً بحساب الاحتمالات . وفي سنة 1850 ، وهو ابن 19 سنة ، كتب ان المنطق الحقيقي في هذا الكون هو حساب الاحتمالات . وفي نظره يعني حساب الاحتمالات وظائف التوزيع للسرعات . وبحث وحصل على وظيفة التوزيع في حالة التوازن الحراري الستاتيكي . وفي سنة 1868 صرح بما يلي : « هذا اذاً شكل ممكن للتوزيع النهائي للسرعة ، وانه الشكل الوحيد أيضاً » .

وقد حصل بطرق غير دقيقة جداً على هذا التوزيع وبين ان هذا التوزيع يستمر بفضل الصدمات بعد تحققه . وبالطبع ، ورغم ان هذا التوزيع كان من قوانين لابلاس ، فلم يكن الأمر امر الرابط مع القوانين الحدود التي تدخل بفضل اساليب الجمع ، وهي نتائج غير معروفة جداً في تلك الحقبة .

يجب ان لا نندهش من هذه الأنواع من الركود . وللفيزيائي مشاكله وهو يبحث بشأن هذه المشاكل عن التقدم بفضل الرياضيات دون ان يبحث في تجديدها . فضلاً عن ذلك إذا نظرنا الى ان الحركة البرونية brownian قد رصدت من قبل ر . براون R . Brown، سنة 1827، وانه كان من الواجب أولاً انتظار 50 سنة (1877) حتى يعزو كاربونيل P . Carbonnelle هذه الحركات الى الاضطراب الحراري ، وانه في سنة 1906 فقط وضع سمولوشوسكي Smoluchouski وانشتاين Ein-stein نظريتها ، وان جان برين Jean Perrin وضع الملاحظات الحاسمة حولها ، نحكم على بطء تسرب هذه الأفكار التي تبدو لنا الآن طبيعية جداً ومنسجمة جداً مع أفكارنا .

وطور لودويغ بولتزمان Ludwig Boltzmann (1844 - 1906) الذي اهتم منذ 1871 بنظرية الغازات، التبيينات المتعلقة بتوزيع ماكسويل . وبالطبع ، استعمل أيضاً حساب الاحتمالات الذي قال عنه : « يمكن الشك بشرعية تطبيقات حساب الاحتمالات التي حصلت ضمن هذا الكتاب . ولكن هذا الاسلوب من الحساب قد وضع موضع التجربة في عدد كبير جداً من الحالات الأكثر خصوصية وانني لا أرى حقاً أي سبب يحملني على المنازعة في تطبيقه على الظاهرات الطبيعية التي هي من صنف أكثر عمومية ». (Vorlesungen über Gastheorie . t . I , Leipzig , 1895 ، مجلّد I، ليزغ1895). الواقع ، وكما هو الحال بالنسبة الى مكسويل ، لا يبدو حساب الاحتمالات وكأنه قد نشأ من اللايقين ، بل يتأتى من الرغبة في وضع ترتيب لمسألة الحتمية الكثيرة التعقيد ، بواسطة مفاهيم المتوسطات ، والتوزيعات التشتية ، وقوانين التوزيع . وقد استبق بولتزمان رؤية تطور التوزيع عبر الزمن عن طريق تحليل الصدمات تحليلاً جر الى معادلته الشهيرة في التكامل التفاضلي والتي هي ، في وقتنا الحاضر ، موضوع أعمال رياضية رائعة .

ونظراً الى المجمل الاساسي في التعقيدات الممكنة والتي استخرج منها احتمال حالة العيان ، فادخل المعادلة الوظيفية التالية : $H(t) = \iiint f \log f \, du \, dv \, dw$ باعتبار ان

$f(u, v, w, t)\, du\, dv\, dw$ هي التوزيع البدائي ، الذي ليس ، في الترقيمات الحالية ، سوى: $E(\log f)$. وهذه القيمة تتناسب مع لوغاريتم احتمالية حسالة الغاز : $S = k \log P = -kH$ ؛ انه القصور الحراري، وانه ايضاً ما سوف نلتقيه تحت اسم اعلام .

نعود الآن الى كتاب : « المبادىء الاولى في الميكانيك الستاتيكي ، مشروحة بعد الرجوع بشكل خاص الى القواعد العقلانية في التيرموديناميك »(1902). كتاب وضعه جوزيا ويلارجيبس Josiah Willard Gibbs (1839 - 1903). ويتعلق الأمر هنا ايضاً بقوانين التوزيع ، انما توزيع مجمل الانظمة الميكانيكية المتناهية العمومية

كتب جيبس في مقدمته يقول: «من المؤكد اننا نتجاوز الضمان ان نحن اقمنا نظرية على فرضيات نسبية حول تركيب المادة »، وبعدها : « لا يمكن ان يكون هناك خطأ في الحساب ، فيما يتعلق بتوافق الفرضيات مع الوقائع ، لأننا لا نقيم أياً منها على الافتراض » .

كتب جاك ديكلو Jacques Duclaux بهذا الموضوع يقول : « ان الصيغ تطبق على جزيئات هي في مختلف الحالات ، ولكن اللعنة ما اذا كانوا يقولون لنا ما هي هذه الجزيئات ولماذا هي موضوعة في هذه الحالات . . . والشيء العجيب حقاً ، هو ان كل هذا الاضطراب الرياضي يؤدي أخيراً الى توضيح خصائص العضلة والكاوتشوك » . (علم اللاّيقين ،باريس 1959) .

ان النماذج المقترحة من قبل جيبس تتضمن ولا شك فرضيات ، ولكن هذه الأنظمة المسماة قانونية تمتلك مقياساً يتصف بصفات الحرارة . وبالطبع ان مثقل الاحتمال هو القصور الحراري(لأن هذا المثقل هو من حيث التعريف لوغاريتم الاحتمال) . هذا التوافق يتأمن اذا كان عدد درجات الحرية كبيراً جداً. ان كتاب جيبس هذا واضح جداً ، أكثر بكثير من مذكرات ماكسويل وبولتزمان. وعنه تكلم مارسيل بريلوين Marcel Brillouin ، في المدخل الى الطبعة الفرنسية ، وباعجاب كبير ،

انه بناء قوي وأصيل . ان القرن العشرين ، كما سنرى ، اضاف الى وضوح جيبس دقة وقوة الوسائل التحليلية الجديدة .

الكائنات الاحتمالية العامة : ان تطور الاحصاء أدى إلى ادخال كائنات احتمالية كثيرة التعقيد للغاية . وبالنسبة الى كل فرد من جماعة اذا ميّزنا ميزة واحدة ، نحصل على الحالة الأبسط في المتغير الاحتمالي أو العدد الاحتمالي . ولكن الفرد يحمل صفات متنوعة (ونقصد بذلك ان اختياره بعد ان يقع يحدد عدة صفات) . نتصور مثلاً أننا ندرس لدى مجموعة من الأفراد احجام الأجزاء المختلفة من الهيكل العظمي ، واننا نتساءل هل هناك من ترابط بين هذه الصفات . ويمكن الذهاب الى أبعد من ذلك وذلك بمقارنة قامة انسان ما بقامة اجداده . وهذا يعطي الكثير من الصفات التي من المفيد دراسة ترابطها . وقد يمكن ان ينوجد عنها عدد لا محدود ؛ مثلاً هيئة المطر بخلال سنة ما يترجم بوظيفة احتمالية ، مثل المحيط الجمجمي لفرد ما ، وخطوط يده . الخ . .

ان الفرد بعد وقوع الاختيار عليه ضمن المجموعة ، عندها تتخذ كل الاحتمالات التي ترتبط به قيمة محددة . ان الفرد هو ما يمثله من وظائف في الاحتمال الأساسي . وبالطبع ان هذه الوظائف ليست بالضرورة مرتبطة ببعضها البعض ، وهذه مسألة مهمة جداً على العموم وهي مسألة علاقة هذه الوظائف وما إذا كانت مستقلة أو غير مستقلة والى أي نقطة يمكن لبعض القيم المحددة فيها ان تكون قادرة على تحسين المعرفة العرَضية للاحتمالات التي تبقى حرة .

ان التطور في الزمن يدخل ايضاً كائنات احتمالية يمكن أن تكون كثيرة العدد ، أو ذات ابعاد لا حصر لها . تلك هي حال سمة المطر بخلال السنة . ان القسم الممتد يؤدي الى رصد الربح العام ، وهو وظيفة احتمالية . ان مسألة افلاس اللاعبين ، المعالجة منذ بدايات حساب الاحتمالات ، سنة 1657 ، تنتمي الى هذه الفئة .

درس الفونس دي كندول Alphonse de Candolle ، سنة 1873، مسألة انطفاء اسماء العائلات . واهتم غالتون Galton بهذا الأمر كثيراً . ولكن يبدو انه قبل أميل بوريل Emile Borel (الاحتمالات القابلة للعد وتطبيقاتها ، 1908) لم يقم احد بوضوح ، بالنظر الى مجموع سلسلة غير محدودة العدد من التجارب . ان الحدث الاحتمالي الأساسي يقوم على عدد غير محدود من ضربات الحظ هنا .

نعد مثلاً عدداً غير محدود من الصناديق حيث تأخذ احتمالية إخراج كرة بيضاء قيماً هي : $p_1 , p_2 , \ldots, p_n \ldots$ والمسائل المطروحة هي من النمط التالي: ما هي الاحتمالية P لسحب عدد غير محدود من الكرات البيضاء ؟ بين اميل بوريل ان P تتعلق بالسلسلة $S = p_1 + p_2 + \ldots + p_n + \ldots$. وهذه السلسلة يمكن أن تكون متلاقية او متفارقة . فاذا تلاقت S فان P = صفراً . وفي هذه الحال **يكون عدد النجاحات احتمالية محدودة قيمتها : صفر , 1 , 2 , K... ولكن القيمة ∞ لا تتحقق (على الأقل ان احتمال هذا الامكان معدوم) .**

وبالمقابل اذا تفارقت S فان P = 1 . توجد احتمالية وحدة من أجل سحب عدد لا حد له من

الكرات البيضاء ، انها الحالة المتحققة بشكل خاص عندما تكون P ثابتة .

سوف نرى بدراسة اميل بوريل ان الأهمية العملية لمثل هذه النتيجة التي تفترض عدداً غير محدود من التجارب ، تستحق امعان النظر . ولكن أهميتها النظرية متناهية الكبر . ويتوجب ايضاً انصاف الأعمال الأصيلة جداً التي قام بها ل . باشلييه L . Bachelier الذي بيّن ، ابتداءً من 1900 الرابط القائم في نظرية الانتشار مع المسارات الاحتمالية المقترنة بتفاعلية امكانية احتمالية .

في كتابه « حساب الاحتمالات (1912) نجد في نظرية انتشار الاحتمالية المعادلة ذات المشتقات الجزئية لحركة الاحتمالية : $\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - \frac{4}{\varphi_1}\frac{\partial P}{\partial t} = 0$

التي هي ،ظاهراً، معادلة انتشار ومعادلة حركة الحرارة . سوف نتكلم في النهاية عن مسائل محلولة وعن مسائل طرحها هنري بوانكاريه، وقد نشر كتابه : « دروس في حساب الاحتمالات » ، الذي علمه سنة 1893 - 1894 ، في سنة 1895(والطبعة الثانية منه المزيدة نُشِرت سنة 1912) . ومن بين المسائل الكبرى الأخيرة نجد في هذا الكتاب مطروحة ومحلولة مسألة خلط الأوراق ، التي كانت في ذهن المؤلف احدى المسائل التي يطرحها تساوي الاحتمالات عبر الانتقال الى الحد الاقصى .

لماذا يمكن الافتراض ـ اذا خلط الورق لمدة طويلة ـ إن كل الانتقالات الممكنة تصبح متساوية الاحتمال ؟ في ذهن بوانكاريه تتخذ هذه المسألة المحددة مساراً تجريدياً . ويتمتع اللاعب باحتمالات متنوعة في أن يحل ترتيباً ما محل ترتيب آخر . هذه الاحتمالات تظهر عدداً شديد التعقيد P ، ثقله P^n او قوته يعطيان قانون الخلط بعد عدد n من الضربات . وبين بوانكاريه، بواسطة نتائج ايلي كارتان Elie Cartan ، ان الحد الاقصى هو القيمة الوسطى لـ P .

في آخر كتابه ، صب بوانكاريه تفكيره على مسألة خلط السوائل .وكانت الجزيئات الوردية مصفوفة بشكل عشوائي في الزمن : $t = 0$ ، وتدلنا التجربة انه بعد فترة من الزمن تصبح الجزيئات موزعة بشكل منسجم . وكما نرى ، وكما يصرح به بوانكاريه، ان الأمر يتعلق بمبدأ أو بقاعدة طاقية principe ergodique . وبين ماكسويل واعلن أولاً هذه الفرضية ومفادها ان المتوسطات الزمنية المأخوذة اثناء مسار ما ترتدي أولها نفس القيمة التي تأخذها المتوسطات الاحصائية المدونة بخلال فسحة المراحل . ويشير بوانكاريه في التفصيل، الى أهمية والى صعوبة الأمر والى حالات الاستثناء الممكنة. في هذه المسألة التي وضعها ماكسويل بولتزمان. وقد أشار اخيراً الى وهم واضح في هذه العملية الافتراضية التي تتناول تطور الجزيئات ،وأشار الى السهولة الكائنة في عدم الأخذ بالتاريخ السابق (تفاعلية ماركوف Markov) .

* * *

ان هذه المسائل التي أضاف اليها نصف قرن من البحوث الكثير من النتائج الجديدة ، لم تستنفد بعد. ولكن يبدو ان مفاهيم التفاعلية الافتراضية ، والتطور الاحتمالي وتساوي الاحتمالات بفعل توزيع العمليات والوظائف الاحتمالية ، ان هذه المفاهيم ، ان لم تجمع وتوحد ، في الأفكار ، كما هي

الآن ، فقد كانت تعيش بقوّة ، ناشئة عن مسائل تطرحها الفيزياء ، والعالم الملموس ؛ ولكنها تفتقر فقط أحياناً إلى الأشخاص .

وبخلال الحقبة الغنية والخصبة الحديثة ، أظهرت نظرية الاحتمالات قوتها المسيطرة ، والتفسيرية والتطبيقية . ولكن ، منذ بداية القرن العشرين ، دلت النظرة الشاملة الى ما قد تحقق ، مع كل الارتباطات ، وكل المسائل التي يقدمها العلم الحديث ، دلت على المركز المحوري ، وعلى الصفة الشاملة لنظرية الاحتمالات . وابتداءً من هذه اللحظة ، قلما يوجد مجال ، في مجمل البحث العلمي الواسع ، لا تظهر فيه ، امام « اجتياح الاحتمال » خطر تجاهل هذا الفكر الجديد .

القسم الثاني

الميكانيك وعلم الفلك

رغم ارتباطها بالعلوم الفيزيائية ، سواء بالغاية ام بالمظهرين النظري والعملي ، يبقى الميكانيك والفلك ، في فجرِ القرن التاسع عشر ، العلمين الوحيدين القابلين لتطبيق مباشر للتقنيات الرياضية .

ان الوضع المتقدم ، في مجال الميكانيك التحليلي ، والميكانيك السماوي ، قد أتاح فعلاً للرياضيين في القرن الثامن عشر ان يجدوا فيها مجالاً مميّزاً يتيح التثبت من قوة ومن فعالية مختلف طرق الحساب الموضوعة بصورة متتالية . ومن جراء هذا وبناءً على سوء تقدير في المظهرين الفيزيائي او التجريبي ، اعتبر اغلب العلماء في مطلع القرن التاسع عشر هذين العلمين كمجرد فرعين للرياضيات التطبيقية .

ان التوسع التدريجي في طرق الفيزياء الرياضية لتشمل مختلف العلوم الفيزيائية ، وكذلك التقييم الأصوب للأهمية الحقيقية للميكانيك التجريبي ولعلم الفلك الرصدي ، وكذلك النشأة والنهضة السريعة لعلم الفلك الفيزيائي (استروفيزياء) في النصف الثاني من القرن ، كل ذلك أدى الى اعادة النظر في هذه النقطة المختصرة والموجزة .

وعلى كل ، وحتى نهاية القرن التاسع عشر احتفظ الميكانيك وعلم الفلك ، ضمن تصنيف العلوم ، بهذا المركز المميز ، على حدود الرياضيات والعلوم الفيزيائية ، هذا المركز الذي كان لهما منذ العصور القديمة اليونانية . ولهذا بدا لنا مبرراً تاريخياً اتباع هذا النهج القديم ، وبالتالي ، المحافظة ، في هذا المجلد المخصص لعلم القرن التاسع عشر ، على تمييز ، شكلي على الأقل ، بين هذين المجالين العلمين والعلوم الفيزيائية الأخرى .

الفصل الأول

ذروة الميكانيك الكلاسيكي والشكوك حوله

كتب بيار دوهيم Pierre Duhem يقول :

«في منتصف القرن التاسع عشر بدا الميكانيك العقلاني مرتكزاً على أسس ثابتة ثبوت الأسس التي ركز عليها اقليدس Euclide الجيومتريا. لقد اطمأن الميكانيك الى مبادئه ، فأفسح في المجال الى انسياب التطور المنسجم في نتائجه . ان التزايد السريع المستمر ، والصاخب لعلوم الفيزياء ، جاء يعكر صفو هذا السلام ويخرب هذه الطمأنينة. . .» (تطور الميكانيك ، 1903) ان هذا الحكم الواضح البيان ، لا يعبر في ايجازه الأنيق عن تعقيدات الاشياء ، ولكنه يبرز الجوهري منه . ان الميكانيك الكلاسيكي ، ما إن سار ، مع لاغرانج ، في طريق منهجي يستدعي بذاته تطورات خاصة بالتحليل الرياضي ، حتى لقي صعوبات منطقية . في حين ان تنظيمه العقلاني قد تكامل وتحسن ، وبخاصة بفضل الانتباه المُدْخَل على نظام ارجاع الحركات ، وفي حين ان مكاسبه قد تضاعفت، فقد رأى (أي الميكانيك الكلاسيكي) عند ابرع صانعيه ظهور مناقشات حول المبادىء التي جاءت المسائل المطروحة بفضل تطور الفيزياء ، لتعطيها نكهة جديدة في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . واحتفظت هذه المناقشات بقيمة فعلية حاضرة ، ولكنها لم تعبر عن ظهور « نظرية النسبية » التي تحمل طابع اللا متوقع والتي تشكل بالنسبة الى العلم السائر درماً مهماً جداً .

I ـ تطور الميكانيك التحليلي

مبدأ الميكانيك التحليلي : لقد ثبتت عبقرية لاغرانج Lagrange في الوضوح الذي اقترن بتصوره للطبيعة الرياضية في ترجمة معادلة نظام القوى ونظام كميات التسارع بفضل مبدأ العمليات الافتراضية . واذا كان تصوير وموقع مطلق نظام مادي معين ، يمكن ان يتحددا في لحظة معينة بفضل عدد متناهٍ من المقاييس (المسافات والزوايا) وبفضل المعايير المستقلة بعد الأخذ بالعلاقات والروابط المفروضة على النظام ، فإنّ معادلة الأعمال الافتراضية التي تعبر عن المعادلة السابقة عند كل تغير متناه الصغر وكيفي في المعايير ، تترجم بالمعادلة مع الصفر لشكل خطي ومتجانس لتفاضليات

المعايير . معادلة يجب التثبت منها مهما كانت قيم هذه التفاضليات . من هنا الضرورة بالنسبة الى الخط المستقيم والمتجانس المبحوث به ، ضرورة ان تكون كل مثقلاته معدومة . من ذلك ان معادلة الأعمال التصورية الافتراضية ، تنقسم الى عدد مساوٍ من المعادلات ، لعدد المعايير المستقلة ، المعايير التي تعبر عن انعدامية المثقلات والتي هي ، بالنسبة الى المعايير ، معادلات تفاضلية من الدرجة الثانية .

والواقع ان كتاب لاغرانج « الميكانيك التحليلي » يجيب على التصريح الوارد في « تحذيره » ، وكان هذا الميكانيك فرعاً من « التحليل الرياضي » أما منهجه « فلم يتطلب لا ابنية ولا تحليلات هندسية أو ميكانيكية ، بل فقط عمليات جبرية خاضعة لمسار منتظم وموحد النسق » مع بقائه فتحاً أكيداً يمارس على الخلفاء جذباً قاطعاً .

تعميم لابلاس : عاد لابلاس Laplace في كتابه « المتوسط في الميكانيك السماوي » (كتاب 1 ، السنة 7) الى المعادلة العامة للأعمال التصورية ، في الشكل الذي قدمه لاغرانج مُحلاً محل التناسق قوة - تسارع ، ما يسميه « كل العلاقات الممكنة رياضياً بين القوة والسرعة » هذا التعميم يفرض نفسه بالنسبة اليه بفعل انه يوجد ، بصورة مسبقة ، عدد غير محدد من الطرق والأساليب من أجل التعبير عن القوة (باعتبارهامقياساً دينامكياً للحركة) تبعاً للسرعة ، وبدون اقتضاء تناقضات منطقية . وأتاحت التجربة التي تخيلها تميز حقيقة قانون « القوة » الملحوظة في الطبيعة ، فوق سطح الأرض ، وهذا القانون هو مجرد تبعية نسبية . ونخطىء الاستنتاج حين نظن ان لابلاس قد عاد بالتالي الى مفهوم ارسطي . وقد بقي اميناً لتراث دالامبير d'Alembert الذي لا تعتبر القوة في نظره مفهوماً أول ، ولكنه كرياضي ، ميز بصورة دينامكية الحركة في مستوى السرعة ، التي تميز بذاتها قانون الساعة . ان « القوة » عند لابلاس هي تكامل مع ما عودنا الميكانيك الكلاسيكي عليه . والمعادلة العامة في ديناميك الأنظمة ، هذا الديناميك الذي توصل اليه لابلاس مع فرضية وجود علاقة ما بين القوة والسرعة ، هي باعتراف لابلاس صعبة الحل جداً . ولكن من الممكن ان نستنتج منها قواعد عامة تشبه قواعد الميكانيك الكلاسيكي .

كتب لابلاس يقول : **«ان مبدأ حفظ القوى الحية يتمّ ، في كل القوانين الممكنة رياضياً ، بين القوة** والسرعة - شرط ان نفهم بالقوة الحية في جسم ما ، حاصل ضرب كتلته بمضاعف تكامل سرعته مضروباً بالتفاضلية في وظيفة السرعة التي تعبر عن القوة » .

وعمم لابلاس ايضاً قاعدة كميات الحركة ، وقانون المساحات ، ومبدأ العمل الأقل . وهكذا صاغ ، سابقاً غيره بمدة قرن ، ميكانيكاً عاماً تقدم النسبية عن طريقه سماتٍ مشتركة مع وجود هذا الفرق وهو ان الكتلة تبقى ، في نظره ، ثابتة ، في حين ان كمية الحركة تتوقف عن ان تكون متناسبة مع السرعة ، في حين انه في نظر الفيزيائيين القائلين بالنسبية ، تصبح الكتلة تابعاً للسرعة عند بقاء كمية الحركة متناسبة مع هذه السرعة .

الترابط والأعمال التصورية : فورييه Fourier وغوس Gauss : - في منظور رياضي خالص أيضاً ، حسن فورييه ، في نفس الحقبة تقريباً مبدأ الأعمال التصورية (مذكرة حول الستاتيك ، السنة السادسة) وذلك برد هذا المبدأ منطقياً الى مبدأ الرافعة ، وذلك بالارتكاز على استحالة التغيرات في

المسافات المتبادلة بين النقط المادية، في نظام متوازٍ . ونصه الذي يشبه في جوهره النص المستعمل في أيامنا عادة ، هو التالي : « ان العمل التصوري للقوى المعينة بالنسبة الى نظام متوازن هو عدم أو سلبي ، بالنسبة الى كل تنقل تصوري متجانس مع الروابط »، هذا النص يتيح تمييز العلاقات الثنائية الاطراف والعلاقات ذات الطرف الواحد ، أي التي من شأنها ان تقطع . ومع هذه العلاقات الأخيرة فقط يمكن ان يكون العمل سلبياً .

في نظر غوس (Ueber ein neues Grundgesetz der Mechanik , 1829) ، لم تعد المسألة مسألة النزاع حول كون مبدأ السرعات التصورية يرد كل الستاتيك الى مسألة تحليلية خالصة ، بل توسيع المبدأ ، مبدأ السرعات ليشمل الديناميك وما يتطلبه من معالجة خاصة ، ولذلك فضل غوس النص التالي :

« ان حركة نظام من النقط المادية ، المرتبطة فيما بينها بشكل ما والتي تخضع تنقلاتها لتحديدات خارجية كيفية ، هذه الحركة تحصل في كل لحظة ضمن توافق الأكمل ، والممكن مع الحركة الحرة ، أو تحت ضغط ضعيف ما امكن ، في حين يكون قياس الضغط المسلط على النظام في كل فترة من الزمن أوّلية يساوي مجموع حواصل كتلة كل نقطة بعد ضربها بمربع انحرافها مع الحركة الحرة ».

ان تحصيل هذه الصيغة انطلاقاً من المبادىء التي سبق اكتسابها ، هو نتيجة لحساب أبسط مما يفترض ، فالعمل التصوري بالنسبة الى تنقل يتوافق مع الارتباطات انطلاقاً من الموقع عند اللحظة t، يظهر كفارق بين المجموع الذي يحدد الضغط مع ذات المبلغ عند الموقع المجاور مجاورة قريبة جداً . ويشير غوس الى مقدار عظمة اكتشاف توافق مدهش بين الطبيعة وبين الرياضيات ، بفضل مبدأ الضغط الأقل . وكما ان الجيومتريين بفضل المربعات الأقل، يغيرون نتائج التجارب من جعلها متوافقة مع علاقة ضرورية بين المقادير المقاسة ، كذلك حركات النظام الحرة ، عندما تكون هذه الحركات غير متوافقة مع الروابط المفروضة ، تتغير بشكل يصغر الى اقصى حد مجموعاً من الكميات المتناسبة مع مربعات الانحرافات . ولا يمكن التعجب من صانع النتائج الباهرة المتعلقة بطريقة المربعات الأقل ، وذلك عندما عرف كيف يعطي هذا الوجه لبحوثه في الميكانيك ، ولكن هذا لا يزيل شيئاً من الأناقة الرياضية لاكتشافه .

الصياغة : بواسون ، Poisson ، هاملتون Hamilton ، جاكوبي Jacobi : ان الفن الجمالي ذاته ، موجود في أعمال بواسون ، Poisson ، وذلك عقب مذكرتين وضعهما لاغرنج ، في سنة 1809، سنداً لمقتضيات نظرية الاضطرابات في الميكانيك السماوي . لقد بسط بواسون كتابة معادلات لاغرانج عندما أدخل مجموع نصف القوة الحية ووظيفة القوى ، وعندما بين ، حول المعادلات البسيطة جداً ، والحاصلة ، ان الثوابت العشوائية التي تدخل في متكاملتين أوليين ، ان هذه الثوابت تمتلك خاصة ملحوظة . ان هذه الثوابت ، المعبر عنها تبعاً للمتغيرات ،ترضي علاقة بين مشتقات جزئية ، علاقة بسيطة بشكل خاص تسمى « هلال بواسون » . وبعدها عممت النتيجة لتشمل حالة نظام خاضع لقوى تشويش . وكان مداها العملي محدوداً ، ولكن البحوث الرياضية حول تحول معادلات لاغرانج والتي استلهمها هذا الأخير ، لن تكون ضائعة .

وبذات الوقت مع اعمال حول البصريات مع محاولة اضفاء نفس القوة « الجمالية والنفاذ والانسجام» الموجودة في الميكانيك ، قام و . ر . هاملتن (الفلسفة ، تحول الملك ، المجتمع ، 1834 - 1835) بالعودة الى النتائج التي توصل اليها لاغرانج ولابلاس وبواسون واثبت تبسيطات الشكل الذي ادخله على المعادلات ادخال وظيفة مسماة رئيسية ، تشتمل على الوظيفة التي وضعها بواسون . وعن طريق تغيرات المتغيرات الخاصة ، الشبيهة بالتغيرات التي نظر فيها سابقوه ، توصل هاملتن الى الشكل المسمى بالشكل القانوني للمعادلات العامة في الديناميك ، وهو شكل مبسط جداً ، ومن الترتيب الأول من وجهة النظر التفاضلية : $\frac{d\eta_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \varpi_i}$, $\frac{d\varpi_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \eta_i}$ وفيها $\varpi_i = \frac{\partial T}{\partial \eta'_i}$ حيث η_i تدل على الاحداثيات الأخيرة بالمعنى الذي قصده لاغرانج ، وحيث T نصف ـ القوّة الحية و H الوظيفة $(T - U)$ (و U تابعة للقوى) .

ان تكامل هذه المعادلات القانونية يتعلق بالوظيفة الاساسية التي يتوجب تحديدها في النهاية وهكذا ترتد المسألة العامة في الدبناميك الى البحث عن وظيفة وحيدة ترضي بآن واحد معادلتين لهما مشتقات جزئية . ولكن للأسف لا يمكن رد هذه الصعوبة القصوى الى القاعدة العامة الا عن طريق التقريب المتتالي . ويبقى ،مع هاملتون ان تبلغ الصيغية الرياضية ، في مجال الميكانيك الكلاسيكي ، وبالتعادل مع مبدأ دالامبير ، اتساعاً قوياً سوف يعرف الفيزيائيون القائلون بالنسبية كيف يستعملونه .

وقدم جاكوبي Jacobi في كتابه (Varlesungen über Dynamik , 1842 - 1843) لنظرية هاملتون بعض التعديلات بقصد جعل التبينات اكثر دقة وبقصد استبعاد الاعتبارات الزائدة . كتب المعادلات القانونية بشكل أعم دون افتراض وجود وظيفة قوى ، وأنهى بذلك وضع الاداة الحاسمة في الميكانيك التحليلي .

وأخيراً اعطى لمبدأ العمل الأقل ، الذي استخرجه لاغرانج ثم هاملتون بشكل خاص في كل ميتافيزيك حول الاقتصاد الأعلى في الطبيعة ـ شكلاً أقرب الى الجيومتريا، لا يستخدم السرعات . والمسارات التي تتخذها النقاط المتحركة والتي تتوافق مع ذات الثابت في القوى الحية ، أو كما يقال التي تتوافق مع نفس الطاقة الشاملة ، ان هذه المسارات تحقق خاصية توقفية (أو تطرفية ، أي اقصوية او ادنوية) لمتكامل يتناول وظيفة الاحداثيات . ويلعب هذا الشكل الجديد لمبدأ العمل الأقل دوراً في عدة نظريات فيزيائية وسوف يكون موضوع بحوث أخرى ، في النصف الثاني من القرن مع ليوفيل Liouville (1856) ، ومع ليبشيتز Lipschitz (1871) ومع و . تومسون وتيت Tait (1879) ومع ليفي سيفيتا Levi - Civita (1896) .

II ـ ميكانيك الأماكن المستمرة

المعطيات السابقة : أولر Euler ولاغرانج Lagrenge : بعد نصف القرن الثامن عسر ، لاحظ الرياضيون ضرورة معالجة خاصة لميكانيك الأماكن المستمرة وكان عدد معايير الموقع يتوقف بالنسبة الى مثل هذه الأنظمة المادية ، دون تحديد . ويبين أولر (مبادىء عامة في حركة السوائل : مذكرة الى اكاديمية برلين، 1755) ثم لاغرنج في كتابه الميكانيك التحليلي ، كيف يمكن تلافي الصعوبة باعتبار

المتغيرات ـ هذه المتغيرات التي تحمل اليوم اسماءها ـ وهي تابعة بآن واحد للزمن ولاحداثيات الموقع . وتشكل متغيرات أولر مكونات السرعة في العنصر المادي في الاحداثيات x ، y ، z وهي تابعة للزمن ولهذه الاحداثيات . أما متغيرات لاغرانج فهي الاحداثيات في اللحظة t من العنصر المادي وهي تابعة للزمن وللاحداثيات الأساسية في ذات العنصر . ان المعادلات العامة في الهيدروديناميك الحاصلة في المنظور الأول والثاني ، وبعد ادخال فكرة الضغط عند نقطة من الكتلة السائلة ، هي معادلات ذات مشتقات جزئية . ومن هنا تفهم ملاحظة أولر : « إذا لم يجز لنا ان نتوصل الى معرفة كاملة لحركة المواثع ، فليس الميكانيك ولا قصور المبادىء المعروفة عن الحركة هو السبب ، بل التحليل الذي يتركنا هنا بالذات ».

الواقع ان أولر ولاغرانج لم يحصلا على نتائج رياضية مرضية ، وباهرة ، الا في حالة خاصة حيث يوجد كمون للسرعات ، وهذا ما يعبر عنه بكلمة قوية ، الحركة اللادورانية .

ان وجود الزوابع قد منع لاغرانج ، رغماً عنه على ما يبدو من النظر ان هذه الحالة الخاصة يمكن أن تكون عامة ، وأن الطبيعة تريد ان تنحني أمام القوانين الأكثر بساطة .

الاستعدادات الضرورية :كوشي Cauchy ونافيه Navier: ولكن ديناميك السوائل ليس وحده كل ميكانيك الأماكن المتمادية المستمرة انه فقط المكسب الأكثر بروزاً في القرن الثامن عشر ، داخل تطور مستقل لظاهرات التمدد . و ان التصور لمجمل ميكانيك الأمكنة المتمادية هو بالضبط من صنع القرن التاسع عشر . والى كوشي يعود الفضل ، ضمن بحوث امتدت طيلة عشرين سنة تقريباً ، ابتداءً من 1822، في وضع لغة مشتركة بين ميكانيك السوائل والتمدد ، وذلك بفضل الدراسة الرياضية الدقيقة لتشوه وسط مستمر . لقد اكتفي حتى ذلك الحين بالتثبت من التمددات الطولية الايجابية أو السلبية (المسماة تكثفاً) وقد درس كوشي الدوران الذي يصيب مقطع صغير من خط مستقيم بعد التشوه . وعبر بذلك تماماً عن الطبيعة الجيومترية للتشوه اللامتناهي الصغر الذي يصيب الوسط بواسطة مشتقات من وظائف احداثيات أساسية في عنصر مادي تمثل : الاحداثيات النهائية لذات العنصر ، والتي لا تختلف بالتالي عن متغيرات لاغرانج Lagrange في لحظة معينة ، وانتقل كوشي من التشوهات او التحريفات اللامتناهية الصغر الى التحريفات المتناهية ، وأثبت وجود « دوران متوسط » متميز .

وفي حين اخذت تتشكل الاداة الرياضية الضرورية ، قام نافيه Navier في كتابه (قوانين التوازن ، وحركة الأجسام الجامدة المطاطة ، 1821) بتجربة حلّ عام ضمن منظور سوف نعود اليه : انه منظور التركيب الجزيئي للمادة، باعتبار انالجزيئات يجب انتعالج حرة الا بعد اخضاعها لتجاذبها المتبادل . ان المعادلات العامة للتوازن المطاطي، هذه المعادلات التي قدمها نافيه Navier معيوبة بشائبة مزدوجة . من جهة انها لا تظهر وظائف متغيرات لاغرنج Lagrange ، هذه الوظائف التي تميز التحريف ، ومن جهة أخرى لا معنى لهذه الوظائف الا ضمن تحليل القوى في الفرضية الجزيئية . وان اعتبرت معلماً في تاريخ الميكانيك العام ، فذلك بعد الأعمال الجزئية التي تمت في أواخر القرن السابع عشر والثامن عشر ، على اساس اختباري ، حول التحريفات الخطية والمسطحة أو حول

مسائل التمدد والمطاطية في بُعْدٍ واحِدٍ أو بعدين ، ولأول مرة طرحت المسألة العامة ، مسألة المجالات المطاطية ذات الأبعاد الثلاثة .

النظرية العامة في التمدد او المطاطية : انه الى لامي Lamé (دروس في النظرية الرياضية حول تمدد الأجسام الصلبة ، 1852) يعود الفضل - بعد اعمال كوشي Cauchy - في وضع منهج عقلاني يشكل مكسباً جديداً في الميكانيك التحليلي .

كتب لامي يقول : « من الأفضل معالجة المسائل المتعلقة بالميكانيك ، بترك تحديد التأثير المتبادل بين مختلف انواع المواد ، اي دون محاولة تدخيل تجاذبات وتدافعات تتبع بعض القوانين الاحتمالية تدخيلاً مباشراً . وإذا امكن بالتالي طرح المسائل بشكل معادلات ، فان طبيعة التأثير الحاصلة ، والقوى التي تعبر عنها وقوانينها الصحيحة تستنتج باعتبارها نتائج . وهكذا تتم اعادة رسم مسار علم الفلك النظري ، الذي لم تبدُ فيه الجاذبية الكونية ، الا كنتيجة محتومة لقوانين الحركة ، بدلاً من ان تتخذ كنقطة انطلاق » .

كان لامي Lamé اميناً لهذا البرنامج ، وقد توصل فعلاً الى ان يكتب المعادلات العامة للتمدد بواسطة عناصر مميزة في التحريف ، عناصر دل عليها كوشي Cauchy ، وبواسطة توترات داخلية لا يتطلب وجودها وتعريفها اتخاذ أي موقف مسبق من تكون المادة .

وبدت النتائج الحاصلة على هذا الشكل ، من جراء هذا الواقع ، غير كافية لتوضيح ظاهرات تعنى مباشرة بالبنية الداخلية للمادة ، ولكنها ، أي النتائج ، قدمت خدمات كبرى للفيزيائيين ، وما تزال نموذجاً لمنهج رياضي خصب وذلك بمقدار ما تعرف حدود هذا المنهج

ومن بين هذه النتائج ، يتوجب الأشارة الى النتيجة التي ظلت كلاسيكية تحت اسم قطع لامي (قطع اهليلجي) وذلك في الحالة الخاصة ، حالة مسائل التمدد المسطح ، أي حيث تكون التوترات في كل نقطة أو واقعة فوق نفس السطح . ويكون مسار طرف الشعاع الموجه للتعثر في كل نقطة قطعاً اهليلجياً ، ويكفي إذاً معرفة التوترات الرئيسية المتوافقة مع الاتجاهين العاموديين لمحاور الاهليلج حتى تتسنى معرفة كل التوترات الأخرى . وفي حوالي آخر القرن التاسع عشر اتاح استغلال الاكتشاف الذي توصل اليه بروستر Brewster ، سنة 1810 ، والمتعلق بالانكسار المزدوج في مجسم متسق ومنسجم ، خاضع لتحريفات ، أتاح التوصل الى طريقة تجريبية لرسم خطوط المزدوج في مجسم متسق ومنسجم ، خاضع لتحريفات ، اتاح التوصل الى طريقة تجريبية لرسم خطوط التوتر الرئيسية فوق نماذج شفافة . ورغم ان استبدال هذه النماذج وجعلها في أجسام حقيقية لم يخلُ من صعوبات اخرى ومن العديد من الشكوك حول قيمة التصدير التمددي القياسي -Photoélasticimét) rie) ، فان شبكة الخطوط العامودية للتوترات الرئيسية ، والمجعولة ، ان امكن القول ، مرئية بفضل الطريقة البصرية ، هي دليل على أهمية الدراسات الرياضية الخالصة حول التوازن التمددي .

الهيدروديناميك : في مجال الهيدروديناميك اتاحت حركية التحريفات المرتكزة على أعمال كوشي تركيز الاهتمام على العناصر التي بقيت حتى ذلك الحين حجر المحك للنظرية ، وهذه العناصر هي

الزوابع والدوامات . ولكن عند انتظار تطبيق نظرية وظائف المتغيرات التصورية ، . التي اتاحت في مطلع القرن العشرين الاقتراب من ميكانيك عقلاني حقيقي مطبق على المواثع ، وكذلك التعرف على الصعوبات الرياضية في دمج المعادلات ذات الاشتقاقات الجزئية التي تستمر في تحطيم التقدمات النظرية . ان القواعد التي يعود الفضل فيها الى هلمولتز Helmholtz (in Journal de Crelle , 1858) حول الحركات الاعصارية ، والتي تشكل التقدم الاعظم الحاصل في مجال الهيدروديناميك منذ أولر ولاغرانج وكوشي لا تطبق الا على المواثع الكاملة ذات العلاقة بين ثقلها النوعي والضغط ، والتي تخضع لقوات احتفاظية أي منبثقة عن دالّة قوى موحدة .

ان الشروط التي تصيب الحدود ، أي مثلاً ، حالة المائع الملامس لحاجز متين ، أو ملامس لمائع آخر ؛ وهي شروط ضرورية لتعريف مسألة الدمج ، ان هذه الشروط كانت ، بصورة متزايدة ، ولسبب وجيه موضوع تأملات تجريبية أكثر مما كانت موضوع تحليل عقلاني .

انها نوافير السوائل خلال أو عبر المواسير (على امتداد اعمال القرن الثامن عشر وبصورة خاصة اعمال دانيال برنولي Daniel Bernoulli)بشأن ظاهرات الشعيرية واللزوجة، هي التي برزت فيها مجالات الحل النظري بشكل ملحوظ ، ومن هذه الجهة ، تجب الاشارة ، في بداية القرن الى نظرية لابلاس في الشُعيريات ، وفي المنتصف الثاني من القرن ظهرت دراسة لبولتزمن Boltzmann تبين كيف ان المعادلات الأساسية في النظرية الشعرية يمكن ان تستخرج من مبدأ السرعات الاحتمالية Poggen-) dorf Annalen . 1870) . والواقع ان الدراسات المهمة حقاً بالنسبة الى تطور ميكانيك المواثع تنتمي الى العلم التجريبي . وعلى كل ترتبط بحوث جان ليون بوازي Jean - Léon Poiseuille حول الاحتكاك الداخلي في السوائل وفي الغازات (1846 - 1847) بالمحاولة النظرية التي قام بها نافيه Navier لكي يوضح ـ من خلال الشروط القصوى (او القريبة من القصوى) ، والمقتربة جداً من الحقيقة الفيزيائية ـ ، الاستثناءات الملحوظة في عملية السيولةضمن انابيب ذات اتساعات متنوعة عند الانتقال من مقاييس كبيرة الى مقاييس صغيرة . وهي أي دراسات ترتكز على فرضية السيلان المنتظم ، المسماة «صفحية»، وفيه تظل شبكات المواثع موازية لمحور القسطل أو الأنبوب .

انها التجربة هي التي كشفت سنة 1883 على يد أوزبورن رينولد Osborne Reynolds ضرورة النظر في الغزولات ، حتى في الحالة المبسطة ظاهرياً ، حالة السيلان ضمن انبوب مستقيم ، وهذه التجربة هي التي عملت على ترك الأمل في التفسير بواسطة الاحتكاك فقط (الاحتكاك الذي لم يظهر تحليله النظري أي تقدم بخلال القرن) تفسير الصعوبات المعترضة . ان اعمال لورد ريلي Lord Rayleigh ، ورينولد Reynolds، ول . برانتل L . Prandtl، عن طريق دمج التجربة والنظرية بالنسبة للسيولات المضطربة غير المنتظمة ، قد اتاحت ، في أواخر القرن التاسع عشر وفي بداية القرن العشرين قيام ميكانيك ، سوف يجد سريعاً، في بناء السفن والطائرات ، مجالاً تطبيقياً ممتازاً .

انتشار الحركات : اذا وجد الميكانيك الكلاسيكي وطريقته في التحليل الرياضي حدوداً ، وإذا اضطرا إلى التماشي مع العلوم الفيزيائية بشكل محسوس خصوصاً فيما يتعلق بحركات المواثع ، فقد اكتسبا أيضاً مكاسب كبيرة في مجال يعود هو أيضاً إلى ميكانيك الأوساط المستمرة ، مجال انتشار

الحركات . وعلى أثر الأعمال التي قام بها لابلاس ، وبواسون وكوشي وريمان وبونسيلي وي . فيليب E . Philipps وباري دي سان فينان Barré de Saint Venant الخ . برز عمل رائع في هذا الموضوع ، في حوالي اواخر القرن ، هو عمل هوغونيو Hugoniot . (Mémoire sur la propaga- tion du mouvement dans les corps , 1887).وانطلاقاً من الحالة البسيطة ، حالة القضيب المطاطي المنسجم الذي تحكم حركته بالمعادلة الكلاسيكية التي سبق ان نظر فيها أولر ، معادلة ذات اشتقاقات جزئية من الدرجة الثانية ، بين هوغونيوت Hugoniot كيف تتولد المتكاملات المتنوعة على التوالي في كل نقطة وتنتشر بنفس السرعة عندما يلاقي المتكامل الأول المستوفي شروط الحركة ، الشروط المفروضة على طرفيه، تناقضاً صاداً اثناء انتشاره .

وعندما يلتقي متكاملان في نقطة دون محدودية تمددية ، ودون اشتقاقات فإنهما يوصفان بالتوافق ويستمران معاً ، ان سرعة نقطة التلاقي تسمى سرعة انتشار المتكامل في آخر . وهذه السرعة هي حلٌ للمعادلة المؤلفة من مميزات المعادلة ذات الاشتقاقات الجزئية من الحركة .

ويتيح تحليل هوغوينو بالتالي تحديد ـ بشكل دقيق ـ كل الحركات التي من شأنها الانتشار فوق سطح مطاطي ، في حركة خاصة دون ادخال تقطعات . وكما صرح بذلك هوغوينو بنفسه : ان تكامل المعادلة ذات الاشتقاقات الجزئية في الحركة ، ليس قريب الحل ، رغم كل شيء، ولكن يمكن العثور على حلول خاصة له ، وهناك خطوة جديدة قد تم اجتيازها في دراسة الظاهرات الطبيعية . وقد طبق هوغوينو نفس المبادىء على الغازات الكاملة ، وذلك بعد التغيير المناسب لتعريف سرعة انتشار متكاملٍ ضمن متكاملٍ آخر ، واهتم بالتالي ، بالنسبة الى الأوساط المطاطية من كل نوع بالتقطعات أو بالمتضادات التي ، عند ملتقى متكاملين ، تولد رياضياً متكاملاً جديداً .

هل الأمر يتعلق هنا بخدعة تحليلية ، تُرَد الى الأسلوب او الكيفية التي تعالج بها المشكلة ، او ان الأمر يتعلق بواقع فيزيائي ؟ . بالنسبة الى هوغونيو ، من المستحيل الاجابة على مثل هذه المسألة . ان تكون المتقطعات ذات وجود فعلي أو لا ، يتوجب على العالم الرياضي ان يتفحص تأثيرها في ظاهرات انتشار الحركة .

وفي النهاية ، وانطلاقاً من حركة معينة ، هي متكامل خاص ، اتاح تحليل هوغونيو درس الحوادث التي قد تعترض هذه الحركة ، مكرراً تفاعلية انتشارية أو تفاعلية ولادة حركة جديدة . ان الأداة الشكلية الموضوعة هنا في تصرف الفيزيائيين ، هي مع سلسلات فورييه ، بالنسبة الى تحليل الحركات الارتجاجية ، ذات أهمية قصوى .

III ـ الحركة النسبية ، وفكرة نظام الارتداد

وجود ثغرة : ان نسبية الحركة ، أي الواقعة القائلة بأن الحركة لا يمكن أن تعرف تعريفاً دقيقاً الّا اذا ردت الى مرجع محدد تماماً ، هذه النسبية كانت فكرة مألوفة عند علماء القرن السابع عشر . وقد استطاع هويجن Huygens بشكل خاص ان يستمد من تغير نظام الرجوع او الارتداد طريقة ممتازة ليقيم وليضع قوانين الصدمة . ولكن أنصار الميكانيك الكلاسيكي في القرن الثامن عشر ، وكذلك

مؤسس الميكانيك التحليلي في أواخر القرن الثامن عشر وفي مطلع القرن التاسع عشر ، قد اهتموا في تطوير كل النتائج الرياضية المنبثقة عن المبادىء المطروحة من اجل التحليل الديناميكي للحركة ، اكثر من اهتمامهم في وضع فكرة حول الانعكاس الذي يمكن أن يكون ضمن هذا التحليل للانتباه المركز على مرتكز الحركة .

وحده كليرو Clairaut اقترح ، في سنة (1742) البحث ، عما يحصل « لنظام ما من الأجسام المتحركة بفعل الجاذبية أو غيرها من القوى الدافعة ، عندما يُحمل هذا النظام ، المربوط في أحد جوانبه ، فوق سطح ، يُحمل مع هذا السطح في حركة مقوسة ومتغيرة ارادياً». وقد انتهى إلى مبدأ غير كامل (استمرارية التحليل الديناميكي المعتاد ، شرط ان يضاف الى القوى المعينة قوىً « جامدة الانسياق ») ، من شأنها ، اذا طبقت فقط في حالات عفوية مناسبة ، ان ادت إلى نتائج صحيحة .

كوريوليس Coriolis وتغير نقطة الرجوع أو الارتكاز : انه في النصف الأول من القرن التاسع عشر قد تم سد الثغرة الضخمة التي أشرنا إليها في القانون الأمامي لعلم الميكانيك، وهي غياب الانتباه إلى نظام الارتكاز، وذلك بفضل أعمال كوريوليس (Journal de L'école Polytechnique 1832, 1835) ، ويبدا أنه من غير المعقول أن تكون مذكرة كليرو قد فاتت كوريوليس ، ولكن هذا لم يذكر أي مصدر ولكن بحوثه انطلقت من نظرية العجلات المائية ، الذي سبق ان عولجت بعد ج . برنولي Bernoulli واولر Euler وبوردا Borda، من قبل نافيه Navier وامبير Ampère. « العثور على حركة آلة تتحرك بعض اجزائها بحركة معينة » تلك هي المسألة العملية التي عمل كوريوليس، في بادىء الأمر على حلها والتي قادته بالرغم عنه تقريباً إلى دراسة مقارنة التسارع الذي يصل اليه ، بصورة نسبية نظامان مرجعان متحركان الواحد منهما بالنسبة الى الأخر. ان اسم كوريوليس بقي مرتبطاً بهذا القانون ، قانون التركيب الذي ينطلق من الحركية الخالصة ، وهذا ارتباط محق إذ الى كوريوليس يعود الفضل في ايجاد كل ما هو ضروري لصياغة هذا القانون . ولكن هدفه لم يكن هذا القانون لأنه كان يحلل كديناميكي ، بالنسبة إلى القوى التي يجب ادخالها واعمالها في نظرية بعض الآلات ، ومع ذلك يبقى اكتشافه اكتشافاً بارزاً .

ان هذا القانون يعبر عن نفسه بتعابير تستخدم بصورة مباشرة بالنسبة الى المتممات الواجب اعطاؤها للقانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي عندما يتم التعرف فيما بعد الى ان هذا القانون يفترض أنظمة رجوع متميزة . ان دراسة الحركة المتعلقة بنظام جسم أو آلة ما بالنسبة الى مرتكز له بذاته حركة معروفة بالنسبة الى الأرض ، تتم -كما بين كوريوليس- بتطبيق ذات القانون ، قانون التماسك بين الحركة والقوى ، إنما بعد إضافة ، إلى القوى العاملة في النظام ، نوعين من القوى الجمودية التي يتمم بعضها بعضاً ، القوى الطاردة الاستلحاقية (التي سوف تكون قوى جمود النظام اذا كان مثبتاً بنقطة ارتكاز متحركة) ، « والقوى الطاردة المؤلفة أو المركبة » التي تنتج بآن واحد من الحركة النسبية ومن حركة المرتكز ، وهي تشكل الاكتشاف الجوهري عند كوريوليس .

احداث تجريبية جديدة : ريخ Reich وفوكولت Foucault : نتج عن هذا الاكتشاف ان الميكانيك الأرضي أي علم الحركات المرتكزة على الأرض ، يوشك ان يعاد النظر به بالاستناد الى القوى

الطاردة المركبة الناتجة عن حركة الأرض .

عاد ف . ريخ الى مسألة قديمة تتعلق بالميكانيك الأرسطي الذي أتاح رفضه تقدم الميكانيك في أواخر القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر ، وبين ، في سنة 1833 ، وهو يعمل على القذائف الساقطة سقوطاً حراً ، داخل بئر منجم عمقه158 م في فريبرغ (ساكس) انه يوجد انحراف متوسط من نقطة السقوط نحو الشرق مقداره 28 مم (انحراف بالنسبة الى مرتكز العامودي) . هذا الخروج على القاعدة الحتمي يوحي بأن الأرض ليست مرتكزاً مميزاً بالمعنى الذي حدد فيه التعبير في ما بعد بشكل دقيق ، اي مرتكز بالنسبة اليه ينطبق القانون الأساسي للديناميك الكلاسيكي ، بشكل دقيق .

ودون ان يطلع الفيزيائي ليون فوكولت Léon Foucault (1819 - 1868)على اعمال كوريوليس Coriolis ، ودون ان يتفهم بوضوح القواعد المطبقة في هذا المجال ، فقد قدم ، في سنة 1851 نتيجة تجارب شهيرة في مذكرة عنوانها « التبين الفيزيائي لحركة دوران الأرض بواسطة رقاص » وبدا الهام هذا المجرب البارع كما يلي : إذا كان مجال التأرجح لرقاص ما ثابتاً في الفضاء الذي تعوم فيه الأرض (وهي مرتكز مميز) فان دوران الأرض على نفسها يجب ان يحسب بفضل دوران ذات مجال الأرجحة بالنسبة الى الأرض .

واذا اعطت التجربة الأخيرة ، التي جرت في باريس ، في البانتيون Panthéon ، في بداية 1851 ، بواسطة رقاص وزنه 28 كلغ ، معلق بخيط من فولاذ طوله 67 م ، النتائج المشهورة المتوقعة ، فذلك بفضل شروط التجريب التي قللت من أسباب تمويت الأرجحات البطيئة وأتاحت تطويل الرصد للإفادة ، كما اشار بذلك فوكولت ، من تراكم « المفاعيل » .

ولا يمكن اذاً التقليل من أهمية نجاح تجربة رقاص فوكولت وكم هي مدينة للحس المرهف في التجريب عند القائم بها ، اكثر مما هي مدينة لنوع من الرؤية النظرية الواضحة للمسألة . ولم يتم الأمر الا بعد فترة ، وبفضل الأعمال التي أثارها اكتشاف الحدث او الواقعة، حيث اعطى الميكانيكيون لفكرة نظام الرجوع المميز كل الانتباه الضروري وبالتالي أدخلوا تجربة فوكولت ضمن بناء عقلاني ومنطقي راسخ الأرضاء .

الجيروسكوب : ومع ذلك لا يمكن اغفال فكر التحسين الذي ادخله فوكولت على معداته التجريبية التي من شأنها اثبات دوران الأرض . ان رقاصاً مثل الرقاص المستعمل في البانتيون Panthéon هو آلةٌ معقدة تقتضي استعمال تجهيزات كثيرة . وعبقرية فوكولت Foucault في الفيزياء برزت ايضاً في اختراع « آلة صغيرة ذات أحجام صغيرة ، يسهل نقلها » ، وتعطي نفس النتيجة التي يعطيها الرقاص . ان الأمر يتعلق بالجيروسكوب ، وهو جهاز له تطبيقات كثيرة ويستحق وصفاً خاصاً لأنه يرمز بوجوده بالذات، في منتصف القرن التاسع عشر ، الى خصب الاتحاد بين العلم النظري والتقنية العملانية .

ان الدراسة النظرية لدوران الأجسام ، وهي من مكتسبات القرن الثامن عشر ، من خلال

اعمال أولر ، ودالامبير ولاغرانج ، قد أتاحت اثبات وجود محاور مميزة تسمى محاور الدوران الدائم . في سنة 1834 ، انهى بوانسو Poinsot الحل النظري ووضع تمثيلاً جيومترياً شديد الأناقة بواسطة دحرجة مجسم اهليلجي جامد للجسم فوق سطح ثابت . ويدل هذا الحل ، الذي احتفظ باسم « الحركة على طريقة بوانسو » ، دلالة مباشرة على ان كل مجسم معلق من نقطة ارتكازه ، وبالتالي في حالة توازن دائم ، يجب ان يحتفظ بالدوران المعطى له ، اذا حصل هذا الدوران حول محور من المحاور المميزة المشار اليها سابقاً . وفي سنة (1852) ابتكر فوكولت Foucault جهازاً يتيح الاستفادة من هذه النتيجة ، ويعتبر جيروسكوبه قالباً من البرونز ، مركباً داخل دائرة معدنية بحيث يكون مركز ثقله النوعي ثابتاً ، ويكون محوره محور دوران دائم . وبحسب النظرية يجب ان يبقى هذا المحور ثابتاً والدوران دائماً ، عندما يكون القالب في حركة دوران حول المحور . ولكن ـ وكما هو الحال بالنسبة الى سطح تأرجح الرقاص ـ يتوجب معرفة نقطة الاستناد او الرجوع . فإذا كان محور الرجوع بالنسبة الى الفضاء المجاور ، لا بالنسبة الى الأرض ، وإذا دارت الأرض بالنسبة الى الفضاء ، فإن محور الجيروسكوب يجب ان يبرز هذا الدوران الأخير وذلك بتنقله بالنسبة الى الأرض ، وهذا ما يحدث تماماً .

الدرس من الاكتشافات : وفي النهاية تعتبر القوة الطاردة المركبة التي قال بها كوريوليس Coriolis ، والرقاص والجيروسكوب اللذان ذكرهما فوكولت مكاسب مهمة في ميكانيك القرن التاسع عشر . القوة الأولى أخذت كثيراً عن التحليل الرياضي أما الثاني ، فبالعكس يعود الفضل فيه إلى الحدس والى التجربة ، وكلاهما متميزان بتفاعل النظرية والتقنية . ولكن الكتب الكلاسيكية ، بحكم نشأتها المتفرقة ، فهي تجمع بين هذه المكاسب منذ مطلع القرن العشرين ، ضمن تفسير واحد عقلاني . ولكن هذا التفسير اذا كان قد تأخر في ظهوره فذلك يعود بالضبط الى صعوبة استخراج الدرس المشترك والأساسي من هذين المكسبين . وهذا الدرس هو ان قانون الديناميك الكلاسيكي يتضمن بذاته بديهية وجود مراكز للحركة مميزة . أما الثورة النسبية فقد عملت على فقط على التغلب على هذه الصعوبة .

IV ـ النظريات الكبرى في الفيزياء والميكانيك

من المستحيل التكلم عن الميكانيك في القرن التاسع عشر دون الإشارة بصورة خاصة إلى تأثيره على الفيزياء ، مع الاكتفاء بالطبع ، ببعض الخطوط الكبرى ، أي الخطوط التي تتوافق مع تنظيم الفيزياء ، بفضل نظريات مستوحاة مباشرة من النموذج الميكانيكي[1].

الترموديناميك . ـ ليس من الصحيح أنه في أواخر القرن الثامن عشر كان جميع الفيزيائيين أنصار ما سمي « كالوريك » أي أنهم اعتبروا الحرارة كمائع ، منتشر في كل الطبيعة ، وإنها بحسب درجة حرارة الأجسام وخصائصها ـ تجبر هذه الأجسام على الاحتفاظ بها أي بالحرارة أو على توزيعها

(1) ان تفصيل التقدم الحاصل في الترموديناميك ، وفي البصريات النظرية وفي المغناطيسية وفي الكهرباءموضح بهذا الشأن في الدراسات التي قدمها ج . آللار G . ALLARD، ومدام م . آ . تونيلات M . A . Tonnelat وي بوير . E . Bauer في القسم الثالث ، قسم العلوم الفيزيائية .

ونشرها . إن فرضية الحرارة ، وهي نتيجة الحركة الجزيئية، والممثلة بقوة حادة في هذه الحركة ، هذه الفرضية كانت معروفة من قبل لافوازيه Lavoisier ، ولابلاس Laplace اللذين لم يجدا مع ذلك أسباباً كافية لتبينها بشكل كامل . وأحدث تطور الآلة البخارية ، مع اكتشاف المفعول المزدوج من قبل جيمس وات James Watt وتجارب رومفورد Rumford حول التسخين ، الحاصل بفعل الدوران السريع مع الاحتكاك ، كل ذلك طرح مسألة التناغم بين الحرارة والعمل الميكانيكي . وبدت المفاعيل المدونة من قبل رومفورد غير متجانسة مع الطرح القائل بتغير بسيط في حرارة الأجسام الذاتية . « لا يمكنني أن أصور لنفسي تمثيلاً للحرارة ، إن لم يتوجب عليَّ اعتبارها كحركة » هكذا صرَّح في : (تأملات فلسفية ـ Philosophical Transactions , 1798) .

وبالمقابل أكملت أعمال متنوعة حول تسخين الغازات بالضغط ، وحول تبريدها بإزالة الضغط ، الأعمال التي قام بها ي . داروين E.Darwin (1788) وج . دالتون J.Dalton (1802) العناصر التجريبية التي أبرزت وجود علاقة بين العمل والحرارة . إلاَّ أنه كان من الواجب انتظار ظهور كتاب سادي كارنوت Sadi Carnot « تأملات حول القوة المحركة للنار » (1824) من أجل العثور على أول محاولة لدراسة عقلانية لهذه المسألة .

ولكن كارنوت قد تردد بين اعتبار الحرارة كمائع مادي ، والحرارة الناتجة عن الحركات الجزيئية، ولهذا لم يتناول جهده في العقلنة في بادىء الأمر ، المعادل الميكانيكي للحرارة وهو أمر كاد أن لا يشتبه به ، ولكنه سعى إلى اكتشاف بنية الآلات الحرارية فانتهى بالتالي إلى ما سوف يكون المبدأ الثاني الأساسي في الترموديناميك ، في حين أن المبدأ الأول (وهو الاحتفاظ بالطاقة) لم يحصل إلا فيما بعد .

إن كل آلة حرارية تفترض ـ كما بيَّن كارنوت ـ وجود مصدر حار ومصدر بارد ، وتشغيل هذه الآلة يؤدي إلى نقل كمية من الحرارة من المصدر الأول إلى المصدر الثاني . إنَّ الآلة النارية تشبه إذاً طاحونة الماء .

وكما أنه يتوجب وجود مسقط ماء لتسيير المحرك الهيدروليكي ، كذلك يتوجب وجود مسقط لكمية من الحرارة لتسيير محرك حراري . إن التشابه الميكانيكي الذي أرشد بحث كارنوت ترك ، كما هو ظاهر،طبيعة الحرارة غير موضحة ، وتفسر بشكل أسهل في فرضية المائع الكالوري . ولكن هذا التشابه أتاح للمؤلف التأكيد على مبدأ سوف يتجاوز المناقشات حول هذه النقطة رغم أهميتها . وبالنسبة إلى آلة نارية عاملة في الظروف الفضلى ، وبالنسبة إلى كمية من الحرارة تقدمها المغلاية ، هناك عمل مجني مستقل عن العوامل المشغلة من أجل تحقيق هذا العمل : إن هذا العمل مثبت فقط بفضل درجات حرارة الأجسام التي بينها يتم ، في التحليل الأخير نقل الحرارة .

في سنة (1842 - 1843) أدخلت الأعمال النظرية التي قام بها روبرت ماير Robert Mayer وكولدنغ Colding فكرة التعادل بين الحرارة والعمل ، وأتاحت وضع مبدأ الاحتفاظ بالقوة الحية في مصاف قانون عام مطبق على الظاهرات الحرارية . إلا أن الدفع الأخير قد تم بفضل تجارب جايمس جول James Joule سنة 1843، تجارب أظهرت التناسبية بين إفراز الحرارة والعمل الحاصل ، من هنا

التعريف الدقيق للمعادل الميكانيكي للحرارة . أما فكرة الطاقة ، وهي فكرة كمنت عبر كل تطورات الميكانيك الكلاسيكي ، فقد تلقت يومئذٍ وبفضل هلمولتز Helmholtz تطبيقاً عاماً . فالجسم يمتلك الطاقة الميكانيكية إن هو استطاع إحداث عمل ، ولكن ظاهرات الحرارة ، والكهرباء ، والتركيبات الكيميائية يمكن أن تُقرن بإنتاج عمل ما . وسنداً لذلك من الطبيعي ترقب ـ إلى جانب الطاقة الميكانيكية ـ وجود طاقات كالوريفية وكهربائية وكيميائية ، ومن ثم وضع المبدأ التالي : في نظام معزول ، إذا تلاشى عمل ما أو ما يوازي هذا العمل ، المنتمي إلى مختلف أشكال الطاقة ، فإن نفس العمل يجب أن يظهر بأشكال أخرى .

وفي منتصف القرن التاسع عشر قدم الميكانيك لدراسة الظاهرات الحرارية طروحات جوهرية . وبفضل التفسيرات والتأويلات وبفضل التطور الحاصل في سنة (1834) في أعمال كارنوت ، من قبل كلابيرون Clapeyron ، أنقذت النظرات الجديدة حول مسائل الطاقة من الأخطاء التي يمكن أن يؤدي إليها المفهوم الضيق لحفظ الطاقة الكاملة في نظام معزول والتصور للتطابقات الرياضية بين مختلف أشكال الطاقة .

وهناك مرحلة جديدة قد تم اجتيازها في سنة 1850 بفضل وليم طومسون William Thomson وكلوسيوس Clausius اللذين أثبتا تدهور الطاقة . وإذا كان هناك تعادل بين 430 (كلغ م) وكيلو كالوري (ك ك) فليس من التماثل في شيء النظر إلى أي من هذه الأشكال من الطاقة . إن الطاقة الميكانيكية هي دائماً مستخدمة بشكل كامل ، أما الطاقة الكالوريفية فليست كذلك . ومن أجل إعطاء الـ (1 ك ك) معادله الميكانيكي الكامل لا بد من ابتكار سلسلة من المساقط بين مصادر الحرارة ومصادر البرودة المؤدية إلى الصفر المطلق في درأة الحرارة وهو تفاعل مستحيل .

ومن جهة أخرى ، إذا كانت الطاقة الميكانيكية تقترن دائماً عند إعمالها بصدور حرارة ، فإن معادلة درجة الحرارة التي تنزع دائماً إلى التحقق ذاتياً ، ضمن نظام معزول ، تجعل الطاقة الحرارية المحررة ، أقل استعمالاً .

وإذاً فعلى أساس المبدأ المصحح : ضمن نظام معزول تحفظ الطاقة ولكنها تتضاءل ، عليه بني علم الترموديناميك، علم قريب من الميكانيك الكلاسيكي بمناهجه وبمفاهيمه وعليه جعلت أعمال بلانك Plank، في آخر القرن (1887ـ1892) الفيزياء الحديثة مفيدة بشكل خاص .

ولكن أن يقال إن الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة ، وشكل متقهقر، لا يفيد أبداً في التعريف بطبيعة الظاهرة ، وتبقى الطاقة كمية مجددة في النمط الرياضي . ومن الطبيعي أن يبعث علماء الفيزياء ، إلى جانب الطاقوية تفسيراً للطاقة الحيادية ، عن طريق اضطراب الجسيمات ، على أثر الأعمال التي قام بها كل من دالتون وأفوغادرو Avogadro وغاي ـ لوساك Gay - lussac حول التركيب الجسيمي للمادة . إن نظرية الحركية في الغازات ، أسسها كرونيج Kronig «1856» وأكملها كلوسيوس «1857 » وسجلت نجاحات مهما مكنت بالتعاون مع علم الطاقة ، وضع معادلات الحالة ، وبهذه المعادلات ارتبط اسم فان ديرولز Van der Waals «1873» . إن العلاقة العامة بين الضغط وبين الثقل النوعي ودرجة الحرارة ، وبين معادلات الحالة تدخل بين المعادلات الضرورية في ميكانيك الموائع ،

وهي عندما تحفظ من عشوائية الحلول تقرب الميكانيك لكي يصبح علماً حقاً بالنسبة إلى ظاهرات الطبيعة .

ومن جهة أخرى لم يقتصر تحرك الجسيمات على تفسير التعادل بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية . وقد بين بولتزمان Boltzmann أن الطاقة الحرارية ليست هي الطاقة الحركية العادية بل طاقة حركية ذات تحرك غير منتظم وأنه التطور نحو اضطراب الحركات الجسمية هو الذي يخلق التقهقر . وهكذا تلقى القانون الثاني الأساسي في علم الترموديناميك تفسيراً ميكانيكياً ، وبذات الوقت برز شرط صلاحه ، أي تعقيد المادة المذكورة في سلمنا . وعندها دخل حساب الاحتمالات في مجال الفيزياء الرياضية . نظراً لأن الاضطراب لا يمكن أن يرد إلا إلى قوانين الإحصاء .

وحدد تطور النظريات الميكانيكية في الحرارة ، نطاق استعمال الأداة الرياضية في مجال الميكانيك الكلاسيكي والانفتاح على أبعاد جديدة .

علم البصريات : ـ ويعود الفضل في تطور علم البصريات الجيومتري ، الناشيء في القرن السابع عشر ، بآنٍ واحد إلى الرياضيين وإلى صانعي الأدوات . ولكن في بداية القرن التاسع عشر قدم عالمان رياضيان كبيران مساهمة ملحوظة لعلم البصريات الجيومترية : وهما : هاملتون ، وغوس . وبرز الإعلام عن البحوث من خلال النموذج الذي قدمه الميكانيك وخاصة في أعمال هاملتون .

« سواء اعتمدنا نظرية هويجنز Huygens (الأرجحة) أو نظرية نيوتن (البث) أو أية نظرية أخرى ، من أجل تفسير القوانين التي تحكم انتشار الأشعة الضوئية ، يمكن اعتبار هذه القوانين بذاتها ، وكذلك الخصائص والعلاقات بين مسارات الضوء ، وكأنها تستحق دراسة منفصلة يمكن تسميتها علم البصريات الرياضية » هكذا صرح هاملتون .

إن هذه البصريات الرياضية ، أسسها هاملتون على صورة الميكانيك التحليلي ، وعلى حساب للتغيرات مطبق على وظيفة تكامل تسمى « فعل » يشكل العنصر التفاضلي فيها حاصل ضرب معيار المكان بالتنقل الأولي ds . أما المبدأ الأقصى للطريق البصري الذي وضعه فرمات Fermat وكذلك قاعدة هويجنز Huygens (القائلة أن الأشعة في كل نظام متناسق ، والصادرة عن نفس النقطة أو التي هي في الأصل عامودية على سطح ما ، تبقى عامودية على أسرة من السطوح بعد تلقيها عدداً من الانعكاسات أو الانحرافات) تجد مكانها أيضاً في نتائج عقيدة هاملتون . والقيمة الأساسية في هذه العقيدة كونها قابلة ، بآنٍ واحد للتفسير الجسيماتي (بمعنى مبدأ الديناميك القائم على العمل الأقل) كما هي قابلة للتأويل التأرجحي . وهذه ثنائية لم يرفضها علم الفيزياء الحديث كما أنها بدت خصبة بشكل خاص .

ولكن الطبيعة التأرجحية للضوء حددت علم البصريات الحديثة والرياضية حدود صلاحية بدت بارزة بشكل خاص في الميكروسكوب ، كما أثبت ذلك آبي Abbe وهلمولتز Helmholtz إلا أن حدود الصلاحية هذه ، التي تأخر الاعتراف بها ليست هي العنصر الأكثر بروزاً في تاريخ التواصل بين البصريات ، والميكانيك . إن تطور النظرية التأرجحية هو الذي قدم المساهمة الجوهرية حول هذه النقطة .

وبعد الكتاب القيِّم الذي وضعه هويجنز والمرتكز على تصور حركة تأرجحية ذات ذبذبات طولية ، ظلت نظرية الضوء جامدةً بخلال القرن الثامن عشر . واستمر زمن النشاط الزاخم الذي بدأ سنة 1801على أثر اكتشاف التداخلات من قبل توماس يونغ Thomas Young ، استمر بفضل أعمال فرنـل Fresnel وأراغـو بين1815 - 1819 . وبعدها شبه الضوء بحركة تأرجحية ذات ذبذبات اعتراضيه . وهذا الاكتشاف هو الذي وضع ، بالنسبة إلى النظرية وإلى النماذج الميكانيكية الصعوبات الكبرى . إن نظرية التمدد أتاحت التثبت من الذبذبات الاعتراضية في الأجسام الصلبة ، دون السوائل والغازات . إن فرضية الأثير المطاطي كوسط لانتشار الذبذبات الضوئية السريعة جداً لا يمكن أن تؤدّي إلى أي حلٍّ مرضٍ . إن ماكسويل هو الذي قدم حلاً في سنة 1864 بواسطة الموجات الكهربائية المغناطيسية التي أتاحت ، كما أثبت ذلك لورانتز Lorentz سنة 1875، التثبت من قوانين الانعكاس والإنحراف (من وجهة نظر الزخم الضوئي) التي بينها فرنل وثبتتها التجارب ، رغم استعصائها على كل تأويل بواسطة المطاطية ، وعملت اكتشافات هرتز Hertz سنة 1888 على نقل الموجات الكهرمغناطيسية من النظرية إلى التجربة وأمنت النصر النهائي لتوقعات ماكسويل .

إذا كان الحدث الرئيسي في القرن التاسع عشر ، من وجهة نظر الفيزياء قد تم ، بواسطة الأكترومغناطيس ، ضد بعض النماذج المقدمة ، من قبل الميكانيك الكلاسيكي ، فلا يجب الاستنتاج من ذلك إن هذا الميكانيك ليس له أي تأثير ولا أية فعالية . إن تاريخ الكهرباء والمغناطيسية لا يحبذ مثل هذا الاستنتاج ، بل العكس ، وبصورة أدق ، وفي هذا المجال المميز من التواصل بين الفيزياء والميكانيك إن التأثيرات المتبادلة والخصبة هي التي يتوجب إبرازها .

الكهرباء والمغناطيسية : بدأ علم الظاهرات الكهربائية في أواخر القرن الثامن عشر مع قانون كولومب Coulomb وبموجبه تعتبر القوى العاملة بين شحنتين كهربائيتين متناسبة عكساً تبعاً لمربع المسافة بينهما . وأتاحت المماثلة بين قانون نيوتن ، أمام بواسون ، في سنة1811 توسيع مجال النظرية الضغطية الموسعة في مجال الميكانيك ، وبالنسبة إلى الجاذبية الكونية لتشمل مجال الكهرباء . وفي الحقل المفتوح هنا أمام البحوث ارتبطت التجريبية بالريضنة [من الرياضيات] .

وارتبط اسم غوس باستكمال نظرية الزخم (1839) وكذلك بالتعريف العملي لكميات الكهرباء وبالنظام الأول العقلاني للوحدات الكهربائية والمغناطيسية .

وفتح منظور جديد على الظاهرات الكهربائية في سنة 1820 بفضل تجربة ارستد œrsted حول انحراف الإبرة المغناطيسية بواسطة التيار الكهربائي . وأثبتت أعمال عديدة جرت بين 1820و1822 جوهر الخصائص المغناطيسية في التيارات الكهربائية . وبدت أسماء أمثال فراداي وأمبير Ampère مرتبطةً بالنسبة إلى هذه الاكتشافات التي تعبر عن نفسها بصورة أساسية من خلال اللغة الميكانيكية في حقول القوى ، كما أسست العلم الجديد في الكهرباء كعلم كهربائي ديناميكي . واستعمل أوم Ohm في سنة 1826 الخصائص المغناطيسية لكي يعرف ولكي يقيس زخم التيارات الكهربائية . وحملته المقارنة مع الحركة إلى دراسة عقلانية ظلت كلاسيكية ، وقد ميزت هذه المشابهة السمات الخاصة بالقوى الكهربائية المتحركة عن سقوط الضغط أو الزخم ،وأيضاً عن زخم التيار .

وفي سنــة 1831 اكتشف فــرادای Faraday الحث الكهـربــائي ، واكـتشـف في سنــة 1837 تأثير العازل الكهربائي على الظاهرات الكهربائية الثبوتية . وابتداء من سنة 1846 ، ودائماً عن طريق التجربة ، بيّن عموميـة الخصائص الكهـربائيـة المتوازيـة ، في المادة ، وتـوصل الى مفهـوم أساسي في التطورات النظرية اللاحقة ، وهي ان المفاعيل الكهربائية والمغناطيسية ليست مفاعيل آنية من بعيد . وهي تُنْقَلُ بفضل العازل الكهربائي الذي هو مرتكز الحقل الكهربائي أو المغناطيسي . وبفضل اعمال فــراداي استلهم ماكسويل الفكرة التي أوصلته في سنـة 1855 - 1856 الى الدراسـة الأولى حول حقـل القوى المغناطيسية في التيارات الكهربائية والى المعادلة التفاضلية الموجهة والمعروفـة . وهكذا ، سـواء نظرنا الى الأعمال التي جرت في مطلع القرن بفضل قوانين كولمب ، في المماثلة مع التجاذب الكوني ، وحيث يتم التركيز على القوى المنبثقة عن الشحنات الكهربائية أو المغناطيسية ، أو نظرنا الى الأعمال التي جرت في منتصف القرن بفضل اكتشاف الظاهرات الكهرمغناطيسية وحيث تم التركيز على مفهوم حقل القوى التي يتحملها وسط ما نظراً لأن الشحنات ليست الا نقاطاً منفردة في الحقل المغناطيسي ، مـن المؤكد ان الفكرة واللغة والنتائج في مجال الميكانيك كلها مرتبطة بتطوير نظريات الكهرباء . وأكثر من ذلـك ، واكثر من محاولات ماكسـويل سنـة 1862 ، من أجـل تحقيق صـورة ميكـانيكيـة للحقـل المغناطيسي ، وهي محاولة قد تم التخلي عنها من قبل فاعلها بالذات ، واكثر من « الضغوطات » التي تخيلها مكسويل أيضاً على طول خطوط القوى في الحقل الكهربائي أو المغناطيسي ، من أجـل اثبات الانتقالات الديناميكية فوق نموذج من نماذج التوترات المطاطية ، رمز نظام المعادلات المسماة معادلات ماكسويل إلى توضيح الفيزياء بواسطة الميكانيك . وبعد اعمال هنريك هرتز Heinrich Hertz الذي قدم ، في سنة 1890 إلى قانون الحث الذي وضعه فــراداي ،شكله كمعادلة تفاضلية من خلالها بدا هذا القانون تابعاً لقانون مكسويل ، وبدت معادلات الكهرباء المغناطيسيـة ذات مسار مشـابه وذات تماثل جمالي مماثل للمعادلات القانونية في الميكانيـك التحليلي . وأخيـراً في سنة 1884 ادخـل بوانتنغ Poynting في مجال الكهرمغناطيسية ، فكرة الدفق الطاقوي . وفي سـنة 1900 أثبت لورانتز Lorentz وهنري بوانكاريه انه بالأمكان ربط هذا الدفق من الطاقة ، بكمية من الحركة الكهرمغناطيسية .

وفي نهاية القرن ظهر الوعي باستحالة رد الكهرمغناطيسية الى الميكـانيك بشكـل عام . بـل ان الفكرة المعاكسة هي التي برزت . الواقع بأن الشحنة المتحركة تجر وراءها حقلها الكهرمغناطيسي ، وان هذا الحقل يتضمن كميةً من الحركة أوحـى بفكرةٍ عن الجرم الجامد في الميكانيك الذي يظهر بشكـل كهرمغناطيسي .أما النظرية الناتجـة عن ذلك فلم تـدم طويـلاً . ولكن يمكن القول انـه من وراء تقدم النظرية الضغطية (ضغط موجه وضغط غـير موجـه) وكذلـك نظريـة الطاقـة ، الحاصلتـين بفضل الكهرديناميك استفاد الميكانيك من العلم الجديد بفضـل المماثـلات التي قادت الخـطوات الأولى لهذا العلم ، وكذلك اسـتفادت اللغة والمفاهيم بحيث قفز الديناميك النيوتني ليتحول الى ديناميك نسـبي .

V ـ الميكانيك الفيزيائي والنقاش حول طريقة الميكانيك الكلاسيكي

بواسون Poisson والميكانيك الفيزيائي : استعمِلَ تعبيرَ الميكانيك الفيزيائي من قبل بواسون منذ سنة 1814 بمقابل الميكانيك التحليلي .

يقول بواسون . « كان الواجب [معالجة القضايا الرئيسية في الميكانيك] بشكل مجرد خالص ، وذلك لاكتشاف القوانين العامة في التوازن وفي الحركة ، وفي هذا النوع من التجريدات ، ذهب لاغرانج الى أبعد ما يمكن تصوره وذلك عندما استبدل الروابط الفيزيائية بين الأجسام بمعادلات بين روابط النقاط المختلفة . وهنا وجد ما يشكل الميكانيك التحليلي . ولكن الى جانب هذا التصور المدهش يمكن الآن اقامة الميكانيك الفيزيائي الذي يقوم على مبدأ وحيد هو رد كل شيء الى الأفعال الجزيئية التي تنقل من نقطة الى أخرى عمل القوى المعين والتي تشكل وسيطة التوازن بين هذه الأفعال . وبهذا الشكل يستغنى عن الفرضيات الخاصة عندما يراد تطبيق القواعد العامة في الميكانيك على مسائل خاصة » .

واذاً فقد قامت مجادلة منهجية منذ مطلع القرن . ان الروابط المجردة في الميكانيك التحليلي هي النمط الخاص بالأسلوب الرياضي المبتكر لتلافي صعوبة التحليل المعقد : التماسك الداخلي في المادة ، علاقات التماس بين الأنظمة المادية ، الخ . ويرى بواسون ان الفيزيائي يرى ان الأفعال الجزيئية التي تقع عند كل مزدوج من النقاط المادية تعبر عن الطبيعة الخاصة في الأشياء . إنّ الميكانيك الفيزيائي يبطل اذاً فكرة الاتصال المجردة ويعالج الأنظمة المادية وكأنها مكونة من نقاط حرة ، ولكنه يضيف إلى القوى التي يقرها الميكانيك الأول ، الأفعال الجزيئية . وسنداً لبواسون ، فإنّه بالنسبة لمن لا يهتم الا بالنتائج يكون العلمان الميكانيكيان متعادلين .

وهنا يوجد تطور لفكرة قال بها لابلاس ، ولكن بواسون أقام عليها مدرسة ، وبصورة خاصة لدى مؤسسي علم المطاطية ، ان سلسلة : نافيه ، كوشي ،باري دي سان فينانBarré de Saint - Venant، بوسينسك Boussinesq ،دي فريسينيه de Freyecinet ،هي السلسلة التي أدامت حتى النصف الثاني من القرن عقيدة بواسون .

مثلٌ مميز: نظرية الشعريات : وفي نفس المنظور تجب الاشارة الى الجهود المبذولة ، بخلال النصف الأول من القرن من أجل وضع نظرية تتضمن أسماء مؤسسي الميكانيك الفيزيائي وهي نظرية الفعل والأثر الشعري .

ان الظاهرة التي تتميز بها السوائل ، والتي تصعد الماء ، ضد الجاذبية الأرضية في الأنابيب الشَّعْرية ، كانت معروفة منذ زمن بعيد ، وتشكل ، بشكل خاص ، صعوبة ضخمة تستعصي على القياسات الدقيقة في مجالات الضغوطات الناتجة عن ارتفاع السائل في البارومتر والمانومتر . والخدمة الأساسية التي قدمتها الدراسات المستحدثة والمستمرة في هذا المجال بخلال القرن التاسع عشر ، قامت على القرابة التي أقرت بين الظاهرات المتنوعة ومنها : شكل نقطة الندى ، بقاء هذه النقط على الأوراق ، تماسك دوائر الصابون ، حبيبات الماء على الأجسام الندية الى آخره . وهذه القرابة فسرها التأمل الفكري في الميكانيك بوجود ضغوطات خارجية سطحية .

فكرة مجرّدة في الأصل ، ليست بذات علاقة بالمفاهيم التي كانت السبب في نجاح الميكانيك التحليلي وقوامها ان الضغط السطحي هو أيضاً وسيلة تلافي صعوبة تحليل البنية المعقدة للحصول على نتائج تفيد علماء الفيزياء . وهذه الفكرة هي العنصر الأساسي في النظريات العقلانية التي تلت

واستمرت بفضل يونغ ولابلاس وبواسون وغوس حتى سنة 1832. ولم تصبح هذه الفكرة موضوع قياس وواقع تجريبي الا في سنة 1885 عندما أقام الفيزيائي الهنغاري لوران أوتفوس (1848 - 1919) Lorand Eötvös تقنيةً تستبعد العديد من الأسباب التشويشية . ان سطح العدسة المقعرة السائلة لا يكون على اتصال بغير البخار المتصاعد منه ويستعمل كمرآة محدودبة لعمليات الأبصار .

ولكن الظاهرات المجموعة تحت الأسم الشامل «المفعول الشعري» تشير بما لا يقبل الشك إلى فكرة قوى الالتصاق في مجال الشيء غير المرئي . ومنذ بداية القرن الثامن عشر توصل جوزيا ويتبرخت Josias Weitbrecht ، وهوكسبي (Hawksbee) الى فرضية جذب مختلف عن الجاذبية الكونية ، يكون قوياً جداً عندما تضعف المسافة بين جسيمات المادة ، ويصبح غير محسوس عندما تصبح المسافة مرئية وقد أوحت هذه الفرضية باعمال بواسون ، لابلاس ويونغ ؛ ولكن وظيفة التحليل الجزيئي للمادة وللجذب المتبادل بين الجسيمات ، تتضاءل عملياً بالنسبة الى هذين الأخيرين لتقتصر على التعريف بالضغوطات السطحية . لا شك ان مفهوم المادة الجزيرية المكونة من جزائر من المواد المكثفة جداً يفصل بينها خضم من الفراغ النسبي ، هذا المفهوم وجد بفضل و . تومسون W . Thomson ، في سنة 1862 حججه الحاسمة، ولكن في سنة 1869 بيّن كينك Quincke أنّ المسافة التي يصبح فوقها الجذب الشعري غير محسوس ، وهي المسافة المسماة « شعاع النشاط» ، تبدو ضعيفة جداً باعتبارها أقل من (50×10^{-6}) مم ، وهذا الحد قد صغر أيضاً فيما بعد الى 10×10^{-6} مم . ولا يمكن الأخذ على بواسون ولابلاس ، انهما اعتبرا المادة السائلة للحبيبات الخاضعة للمفعول الشعري وكأنها شبه مستمرة . ان نظرياتهما ، ذات النتائج التي ما تزال مفيدة ، تشهد بالمساندة المتبادلة ، وبالاتفاق ، فيما يتعلق بالنتائج ، بين ميكانيك الفيزياء والميكانيك التحليلي .

الصعوبة الأساسية : ان هذين المجالين من الميكانيك يبعدان كل البعد عن التساوي . وفي تصور بواسون Poisson من المستحيل ايضاح توازن أي نظام معزول عن كل أثر خارجي . ان كل النقط المادية غير ذات الامتداد ، يجب ان تنزع الى التجمع في نقطة واحدة تحت تأثير التجاذب الداخلي المتبادل . وهذا الاستثناء لم يكن جديداً . ان خطر تكثف المادة بشكل ضخم قد سبقت الاشارة اليه عدة مرات في القرن الثامن عشر . وقد أثار بشكل خاص حدوث عمل يتجاوز بصورة واسعة زمنه في أكثر من ناحية ، ولم يكن له من جراء هذا ، الصدى الذي يستحق . وقد اقترح ر . بوسكوفيتش R . Boskovic (نظرية الفلسفة الطبيعية ، فيينا ، 1758) ان يستبدل القانون النيوتني للجاذبية ، بقانون اكثر تعقيداً ، لمراعاة تناوب حركات الجذب والدفع من جراء تناقص المسافة ، بحيث تبقى عمليات الدفع وحيدة ، وتتزايد باستمرار عندما تنحدر المسافة إلى حدٍ معين .

وفي القرن التاسع عشر توجه نافيه وجهةً مختلفةً قليلاً كي يستبعد الخطر الذي يشكل بالنسبة الى النظرية حجر عثرة . وكما هو الحال مع بوسكوفيتش ، وجه نافيه اهتمامه الى « الحالة الطبيعية » في الأجسام ، هذه الحالة المتميزة بانعدام الجاذبيات الداخلية ، ولكنه رأى أن هذه الجاذبيات تظهر منذ أن يحصل تشويه .

هذا التصحيح ، مهما بدا غير مصطنع ، لا ينجي من صعوبة كبرى : استحالة وضع تميز

منطقي بين المجسم المطاطي المتسق ، والسائل القابل للضغط . ومع ذلك يوجد بين هذه الأنظمة المادية تميز حقيقي إذ يتوجب اعطاء الجسم المطاطي معدل مطاطية جذبية في حين ان هذه العملية مستحيلة بالنسبة الى السائل القابل للضغط .

ويعاني الميكانيكي الفيزيائي ، من جهة اخرى من صعوبة منطقية ضخمة ، كما ذكر ذلك لامي Lamé . فمن أجل الوصول بهذه الحسابات الى نهايتها حيث يمكن للميكانيكي الفيزيائي ان يصل الى نتائج الميكانيك التحليلي ، كان عليه ان يحول عاجلاً أم آجلاً المجاميع البسيطة الضئيلة الى متكاملات ثم رفض معالجة الأجسام وكأنها مجموعات نقاط مادية ، وأيضاً إعطاء المادة الاستمرارية التي كانت مرفوضة في الماضي .

الفيزياء والنماذج الميكانيكية : ان النقاش المنهجي الذي وضعته محاولة بواسون ، وصل الى الطريق المسدوّد ولذلك ـ وباتجاه آخر غير تنمية النظريات الفيزيائية ذات العلاقة بالنماذج الميكانيكية ، التي سبق ان تكلمنا عنها اعلاه ، تكلم الفيزيائيون ، في أواخر القرن ، وفي بعض الأحيان ، عن الميكانيك الفيزيائي . ان الأمر يتعلق في نظرهم بالافادة من المفاهيم الميكانيكية ، ومن المواد الرياضية ومن المقارنات التي يقدمها الميكانيك ، من أجل تنظيم الظاهرات المدروسة ، أولاً ، بحسب الطريقة الخاصة بالفيزياء . وهنا يكمن شيء آخر غير الميكانيك الجديد العقلاني الذي يطمع الى الاحاطة والى تجاوز الميكانيك القديم ، وذلك بادخال بنية مختصرة للمادة في مبادئه الأساسية . وبافتراض ان هذا الميكانيك الجديد ممكن ، فانه يتعرض كثيراً، مع تجاوز مفهوم المادة التي يرتكز عليها ، لان يصبح ، وبسرعة ، تحفة في متحف ، وبالتالي أقل استعمالاً من الميكانيك القديم حتى بالنسبة الى عالم الفيزياء . في أواخر القرن التاسع عشر لم تكن حدود تطبيق الميكانيك الكلاسيكي معروفة ، كما سبق وذكرنا ، في حقل الفيزياء ، ولم تكن موضوع فضيحة . بل بدت طبيعية بسبب الطريقة الخاصة بهذا الميكانيك الكلاسيكي ، والازعاج فيها لم يكن كافياً للقضاء على المكسب المتأتي عن عقلانيةٍ وعن صياغة تضمنان التوصل الى أداة عامة ، قادرة على توفير عدد كبير من التطبيقات ، من شأنها تغطية التأويلات المتنوعة . يبقى ان نعرف ما إذا كانت المبادىء التي ترتكز عليها العقلانية وصياغة الميكانيك الكلاسيكي هي بذاتها غير ملموسة . وهنا تكمن مسألة أخرى ، قد فرقت تماماً بين المفكرين من النصف الثاني من القرن ، كما هيأت السبل ، وبحق ، أمام ابعادٍ جديدة .

VI ـ مناقشة مبادىء الميكانيك الكلاسيكي

ظهور تيار انتقادي : حوالي سنة 1850 ابرزت كتب « عدة » عناصر هذه المناقشة . وحاول دي سانت فينان Venant ، وكان عالماً ذرياً مؤمناً ، في كتابه « مبادىء الميكانيك المرتكزة على الحركة (السينماتيك) (1851) ان يطهر القاعدة العقلانية في الميكانيك من كل مفهوم استدلالي مبهم . ولذلك رفض ان يأخذ بمفهومي الجرم والقوة الا كمفاهيم مشتقة ، وقدم لها التعاريف التالية :

« ان جرم أي جسم هو العلاقة بين عددين تفسر كم مرةً يحتوي هذا الجسم وجسمٌ آخرُ ، مأخوذٌ بصورة عشوائية ودائماً هو نفسه، من أقسام تتواصل ، بعد انفصالها وتصادمها اثنين اثنين ، الواحد ضد الآخر ، وذلك بفعل تصادم السرعات المتعارضة والمتساوية . ان القوة او الجذب

الايجابي أو السلبي ، لجسم ما على جسم آخر هو خط يساوي ضرب جرم هذا الجسم بالتسارع المتزايد الأوسط الذي تتخذه نقاطه نحو نقاط الجسم الأول ، ويكون لها نفس اتجاه هذا التسارع » .

وفي ذات الحقبة ، رجع ريش (Reech) في كتابه « محاضرات في الميكانيك . . . » (1852) رجع الى رأي متروك منذ أولر (Euler) ، فجعل من القوة مفهوماً أوّل . والشيء الذي نقدره عنده ، بدرجة عالية من الوضوح ، هو خيط مشدود يفترض انه مجرد أو معزول عن صفته كمادة او كجرم ، هذا الشيء اتاح وضع تعريف . ان ريش Reech تصوّر نقطة مادية معلقة بخيط . وكل شد في الخيط يولد قوة قابلة للقياس بمقدار التمدد ، ومن شأنها تغيير حركة النقطة . ومن خلال تأملات يختلط فيها التجريد الرياضي والدعوة الى النتائج التجريبية ، سُرَّ بالعثور مجدداً على القانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي دون الحاجة الى التذرع او الاستعانة بمبدأ الجمود . ان الحركة المستقيمة والموحدة الشكل ، في حالة النقطة المادية الحرة ، تستخدم من أجل التعريف ، عن طريق الافتراض الاصطلاحي الخالص ، بما يمكن ان يسمى بالقوة الشاملة .

وفي أواخر القرن ، بين أندراد (Andrade) ، في كتابه « دروس في الميكانيك الفيزيائي (1898) ان نجاح حسابات ريش يعود الفضل فيها إلى استقلال فرق التسارعات (وهذا الفرق يتصل بقوة الخيط) وذلك بالنسبة الى مرتكز الحركة ، كما حاول « اندراد » إستكمال وتحسين طريقةٍ محركها الواعي نوعاً ما هو إستبعاد المرتكزات الإمتيازية في الميكانيك . ولكن للأسف بدا هذا الإستبعاد مستحيلاً . إن طريقة ما سميّ « مدرسة الخيط » تفترض وجود مرتكز تمارس فيه كل النقط المادية ، بعضها على البعض الآخر ، مفاعيل متبادلة ومتعادلة ، إثنين إثنين .

أرنست ماش Ernest Mach : يعتقد أرنست ماش (1838 - 1916) وهو أحد النقاد الأكثر صفاء في أواخر القرن ، أنه عطّل في كتابه « الميكانيك » (1883) الصيغة الخاصة ، لمبدأ تعادل الفعل وردة الفعل ، وذلك باعتماده تعريفاً للجرم يتجنب أيضاً صعوبات التراث الكلاسيكي (كمية المادة) وكذلك المصاعب التي يعاني منها علماء الذرة .

يرى ماش أن جسمين في ذات الجرم هما جسمان يتبادلان التسارع المتساوي والمتعارض تعارضاً مباشراً ، كما يؤثر أحدهما بالآخر . وعندما تكون التسارعات في نفس شروط العمل ، وغير متساوية ، فإن العلاقة بينهما هي من حيث المبدأ علاقة كتل أو أجرام (masses) . إن التمثيل البديهي للقانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي هو أكثر إرضاء في ما يتعلق بالتناسق بين القوة والجرم والتسارع ثم إن المؤلف تميز بالإشارة إلى هذا الموضوع بحيث أنه ـ إذا لم تتناول معرفتنا إلا الحركات النسبية ـ من الواجب ، بصورة أولى ، أن يكون إختيار نظام الركون النموذجي غير حاسم . ويُفَسَّرُ نفس الدوران النسبي بآنٍ معاً بحركة الأرض بالنسبة الى الكواكب الأخرى كما يفسر بحركةٍ ، في مجمل هذه الكواكب ، حول أرض ثابتة . ان تسطح الأرض وتضاؤل التسارع في الجاذبية عند خط الاستواء هما حدثان غير قابلين للتفسير ضمن هذا التأويل الأخير . وأخيراً ركز ماش الانتباه على انه من المستحيل تجاهل بقية الكون، حتى في حالة عدم الاهتمام الا بمفعول جرمين بصورة متبادلة . ومن حيث المبدأ ، يجب في كل لحظة اعتبار كل الأجرام وكأنها متفاعلة في ما بينها . وكما انه من المستحيل أيضاً ترجمة

هـذا الرأي بشكـل عملي ، يفتـرض إعمال القـانون الأسـاسي في الميكـانيـك الكـلاسيكي ، وجـود تقريبات ، ولا شيء يسمح بالقول والتأكيد انه في سلسـلة النتائج ، لا تظهر صعوبات تقتضي اعـادة النظر بالمبادىء .

ميكانيك (هرتز) (Hertz) : دون التنكر للقيمة العملية التي يمتاز بها النظام الكـلاسيكي ، عمل هـ . هرتز (1894) على اقامة بنـاء اكثر ثبـاتاً من النـاحية الكمـالية المنطقية والشكليـة . ان مفهومي القوة والطاقة ، هما في نظره نتيجة عمل الفكر المقتصر عليهما ، من أجل الحصول على صورة لعالم مغلق على نفسه وخاضع لقوانين ، ثم التخيل ان وراء الأشياء التي نراها هناك أشياء أخرى غير مرئية ، ثم البحث ، ووراء حواجز حواسنا عن عوامل مستترة . ولكن يمكن الافتراض أنّ هناك شيئاً خفياً يعمل ثم إنكار ان هذا الشيء هو شيء آخر غير الجرم وغير الحركة ، وغـير مختلف عن الأجرام والحركات المرئية ، إنما له علاقات بنا وبأسلوب ادراكنا المعتاد . وادخال هذه العناصر الافتراضيـة ، المتكونة من الأجرام ومن الحركات الخفية يسـّر اقامة الميكانيك . لقد افترض هرتز بصورة مسبقة انـه بالنسبة الى نظام معزول ومتجرد اي لا يوجـد خارجـه أي جرم قـابل للرصـد أو خفي ـ ان القانـون الأساسي هو التالي :

ان النظام يجتاز بسرعة ثابتة مساراً قليل الانحناء ، اي مسار اغنائه في نقطة ما أقل من انحناء أي مسار آخر مجاور .

يجب ان نفهم من كلمة « منحنى » المجموع ، الذي يشمل كـل عناصر النـظام ، والمؤلف من كميـات تدخـل في الشكل : $m\,[x''^2 + y''^2 + z''^2]$ بحيث ان قـانون هـرتز يكتب بلغـة حسـاب التغيـرات : $\delta\,[\,S\,m\,(x''^2 + y''^2 + z''^2)\,] = 0$ باعتبـار ان التغير (δ) يؤخـذ على أسـاس ثبات الرموز التالية ، x', y', z' و x, y, z بعد هذا ، يكون النظام المادي القابل للرصد دائماً جزءاً من نظامٍ معزول بقيته خفية جزئياً أو كلياً . وبواسطة الروابط كما قصد بها لاغرانج ، بين النظام المرصود وبقية النظام المعزول الذي هو جزء منه ، تكتب بسهولة قوانين حركة النظام المرصود. وكل خروج على القاعدة ملحوظ بين النتيجة النظريـة والتجربـة يمكن ان يجد مبـرره في وجود أجـرام وحركـات خفية اضافية .

والصفة التحكمية في هذه الأجرام الخفية ، المتحركة بحركات غير قابلة للرصد تجعلها قابلة لأي استخدام في حاجات الغرض المبتغى . ولكن الأمر الذي يعطي اقصى الليونة وأقصى ملاءمة للنظرية يبدو هنا كتمويه براق جداً فلا ينال الموافقة المطلقة بدون اي تحفظ .

طروحات : هنري بوانكاريه Henri Poincaré ـ انه ضمنَ منظور آخرَ مختلفٍ جداً ، قد قـام الـدليل عـلى فكرة المـلائمة ، بفضـل **هنري بوانكاريه Henri Poincaré** (راجـع كتـاب : العلم والفرضية ،1906) . ان هذا العالم الرياضي الكبير اخضـع لنقد نفاذ مبادىء الميكانيك الكلاسيكي ، وبينَ الصفة الاصطلاحية لهذه المبادىء ، وانه بواسطة تعريف القوة بدت هذه مساوية لحاصل ضرب الجرم بالتسـارع ، وبالتعريف بدا الفعل مسـاوياً لردة الفعل بحيث يمكن تمييز التوازن عن طريق معادلة نظام القوى بصفر. وقانون التركيب الجيـومتري للقـوى هو بـذاته اصـطلاح من وجهة نـظرٍ منطقيـة

خالصة . ولكن هذه التعاريف والاصطلاحات ليست كلها عفوية . بل هي ثمرة تجريدات من تجارب بدائية بسيطة تكفي لتبرير اتخاذها كأساس ومنطلق . وإذاً فالميكانيك ليس مجرد بناء منطقي خالص ومسبق ولا هو نتيجة معطيات تجريبية . ان الميكانيك يأخذ من الاثنين بآن واحد .

وهذه الملاحظة قادت هنري بوانكاريه إلى طرح سؤال مهم جداً . بعد الاعلان بشكل واضح عن مبدأ الحركة النسبي ، اي الاحتفاظ بقوانين الميكانيك الكلاسيكي عند الانتقال من نظام مرتكزي الى نظام متحرك بالنسبة الى الأول بحركة مستقيمة وموحدة ، تساءل هنري بوانكاريه لماذا لا يطبق هذا المبدأ الذي يتضمن نفس المناقشة التي تطبق على المبادىء السابقة ، لماذا لا يطبق الا في حالة الحركة النسبية المستقيمة والموحدة ؟ . وقد أثار هذا الحصر بذاته مشكلة. وهنا يتدخل ، برأي المؤلف ، مفهومَ السهولة والملاءمة .

في النظرية الكلاسيكية ، وعند تغيير نظام الارتكاز ، يتألف التسارع من تسارع انسياقي وتسارع استكمالي ، يسمى تسارع كوريوليس Coriolis، والذي يجمع بآنٍ واحد حركة المتحرك بالذات والحركة النسبية للمرتكزين الواحد منهمابالنسبة للآخر .ويبقى قانون الميكانيك نفسه بشرط ادخال ـ الى جانب القوى المعتبرة حتى الآن كقوى حقيقية ـ نمطين من القوى الوهمية المتلائمة مع التسارعين السابقين واللذين يسميان قوى دافعة مركزية وعادية او قوى انسياقية ، وقوى دافعة مركزية مركبة . وعلى هذا ، وفي حالة الميكانيك الأرضي ، يسهل تفسير تسطح الأرض ، وتدوير مجال ارجحة رقاص فوكولت Foucault، والتغير بحسب الموقع ، في طول الرقاص الذي يُغَيِّرُ الثانيةْ ، وانحراف القذائف نحو الشرق ، وظاهرة المد والجزر ، بواسطة دوران الأرض والقوتين المركزيتين الناتجتين عن هذا الدوران . ولكن القول بأن الأرض تدور لا يمكن ان يكون له معنى الا اذا عرفنا بالنسبة الى أي شيء تدور . وإذا غطت السحب الكثيفة بصورة دائمة السماء عن أعين الناس بحيث تمنعهم من رصد النجوم ، وحتى معرفة وجودها ، فان احداً لا يخطر بباله ان الأرض التي تحملنا يمكن أن تكون الا ثابتة لا تتزعزع . والرصاد الأرضيون ، امام الظاهرات التي ذكرناها ، كانوا سيكونون مضطرين الى اعتبار القوى التي تفسر هذه الظاهرات ، لا كقوى مركزية نازعة وهمية بل كقوى حقيقية .

بعض هذه القوى (القوى التي تسميها النظرية الكلاسيكية بالقوى المركزية النازعة أو قوى الانسياق ، والتي ترتبط بمواقع نسبية ، مواقع العناصر المادية) يمكن ان تنتج عن عمل تبادلي بين أجسام تماثل للجاذبية الكونية وان تشكل حدوداً تصحيحية لهذا الجذب ، كما انها يمكن ان تكون من تأثير وسط شديد اللطافة شبيه بالأثير الذي يكثر ذكره .

والقوى الأخرى (التي تسميها النظرية الكلاسيكية قوى مركزية نازعة مركبة ، والمتعلقة بسرعات نسبية) تجد في مماثلة الاحتكاكات نوعاً من التفسير . ولكن العلماء الأرضيين ، السائرين في هذا الطريق سوف يواجهون تعقيدات وتعقيدات « الى أن يأتي كوبرنيك جديد فينظفها كلها بضربة واحدة بقوله : من الأبسط الافتراض بأن الأرض تدور » . وهذا لا يعطي الفضاء المطلق ، أي المرتكز الذي تسند اليه الأرض لِيُعْلَمَ ما اذا كانت تدور ، أي وجود موضوعي . ببساطة « وبين كل الفرضيات أو كل المصطلحات » التي تسمح بتوضيح كل الظاهرات الأرضية ثُمَّ ضم ، ضمن نظرية

واحدة ، التجارب البسيطة والتجارب الدقيقة ، هناك فرضية هي أكثر ملاءمة من الفرضيات الأخرى . هذه الفرضية هي التي تؤمن للحركة النسبية المستقيمة والموحدة امتياز ثبات قوانين الميكانيك ، وهي التي تبعد بذات الوقت الأرض عن فئة المرتكزات الخصوصية وذلك بتمييز هذا الاستبعاد بالدوران . ان النظرة النقدية التي ألقاها هنري بوانكاريه لم تقف عند حدود المبادىء النيوتونية .

« أن الصعوبات المثارة بفضل الميكانيك الكلاسيكي قد جرّت بعض المفكرين إلى تفضيل نظام جديد على النظام الكلاسيكي سموه الميكانيك الطاقوي . . . وقد اعطاه هلمولتز Helmholtz شكله النهائي » هذا هو قول هنري بوانكاري .

يوجد في أساس هذا النظام تعريف الوظائف التي تؤلف الطاقة والتي تساعد بآنٍ واحدٍ على تطبيق مبدأ حفظ الطاقة الشامل وعلى مراعاة هذا الشكل أو ذاك من أشكال « مبدأ الفعل الأقل » . وهذا التعريف لا يتطلب فرضية خاصة سابقة حول البنية الداخلية للمادة . ان الأجرام (الكتل Les masses) ليست ، في النظرية ، الا المعاملات coefficents التي تدخل مع معايير الموقع ، ومشتقاتها (المثلة للسرعات النسبية) في التعبير عن الطاقة . ويمكن الكلام أيضاً عن القوة ، بفعل الملاءمة ، وذلك بالإستناد إلى الصيغ الكلاسيكية ، وذلك بعد تحديد الأجرام ، ولكن هذا المفهوم عارٍ تماماً عن المضمون الايجابي . ويوجد اذاً مكسب ضخم من الناحية المنطقية . للأسف ، وخارجاً عن حالات بسيطة جداً تستطيع النظرية الكلاسيكية حلها بدون صعوبة ، يكون اختيار التعابير التي يجب ان تشكل جزءاً من الطاقة حتى يتم تأليف ثلاثة أجزاء منها ، أمراً مستحيلاً . « ولا يبقى امامنا الا صيغة واحدة بشأن مبدأ حفظ الطاقة : هناك شيء يبقى ثابتاً » . وهذا الشيء غير كافٍ ولا فائدة كبيرة منه ظاهراً .

ولا يبقى ، بعد كل هذا ، الكثير من الوهم حول القيمة الموضوعية لمبادىء الميكانيك ، ونفهم بسهولة لماذا أثارت طروحات هنري بوانكاريه الاهتمام . لا شك ـ وكتابه « قيمة العلم » يشهد بذلك ـ انه لم ينغمس ضمن شكوكية سلبيه . ولكن كان في موقفه ما يثير الاضطراب في الأذهان عند الكثيرين . ولكن الجرأة التي عرف بها كيف يصل الى البعيد في نقد الأفكار المأخوذة ، ثم وضوح أفكاره ، كل ذلك اثر بعمق في الجيل العلمي الشاب في أواخر القرن . وهذا ما يعطي لعمله قيمةً لا بديل عنها .

بيار دوهيم Pierre Duhem : من حسن الحظ ان عمل هنري بوانكاريه لم يكن الانجاز الوحيد في هذه الحقبة العصيبة . ان فضل بيار دوهيم (1861 - 1916) يقوم على انه عالج القضية من طريق آخر ؛ كان بيار دوهيم قد غرق بشكل أكبر في بحوث الفيزياء . وكان اكثر تحمساً بالمعطيات الدقيقة لوضع العلم أكثر من اهتمامه بالمسألة المسبقة مسألة الأسس المنطقية . ان المعطيات المحددة هي النظريات الميكانيكية المختلفة التي صيغت من أجل احتياجات الفيزياء ، والتي أتاحت ـ بشكل عام ـ معالجة أربع فئات كبرى من الظاهرات هي النظم القادرة على احداث تغييرات قابلة للانعكاس ، نظم الاحتكاك ، ثم النظم ذات الآثار **البطائية** Hysteresis ، والنظم التي تجتازها التيارات . وقد اقتضى

وضع النظريات وجودَ فرضيات خاصة بكل فئة ، واعتماد الصيغ ذات النمط المتغير بين فئة وفئة . وإذا كان ليس من مجال للتعجب من تشتت النماذج الميكانيكية ، وإذا كان وجود المتغيِّرات التي لا جمود فيها (والتي يمكنها ان تتغير بدون تعديل في جرمها) وبصورة خاصة عدم استغراب تنوع درجة الحرارة ، قد اظهر ان مبدأ دالمبير d'Alembert لا يمكنه ان يساعد على قيام الديناميك العام ، بدون تغير ، يبقى ان هذا الديناميك العام براه دوهيم مرتكزاً على ترموديناميك ، ما يزال يحتاج الى من يضعه . والصعوبة تكمن في وجود تعددية في الميكانيك يفاقمها تطور الفيزياء ، التي يصعب ـ رغم المحاولات الجارية من أجل تقليص عدد المفاهيم الأولية ـ بشأنها ، اجراء التوليف ضمن وحدة كبرى .

وفي مواجهة رؤية مثبطة ، نوعاً ما ، للأشياء ، ومفاقمة لواقع تكاثر وجهات النظر المختلفة والمتعادلة منطقياً ، والتي يصعب اجراء الاختيار بينها الاّ لاسباب يسر وسهولة ، من المهم التذكير بالمطلوب الأساسي لكل علم جدير بهذا الاسم .

VII ـ توقع ميكانيك جديد

ان تجربة ميكلسون Michelson سنة (1881)، والمستعادة بمعاونة مورلي Morley سنة (1887) ، ثم تأويلها من قبل لورنتز Lorentz سنة (1895) ، كل ذلك يضع نشأة النظريات النسبية في الحقبة بالذات التي بيَّنا ضياعها . وتاريخ هذه النظريات يعود الى القرن الذي هو قرنند ويتطلب معالجة منفصلة . ان الاستنتاج الحق من القرن التاسع عشر ، في مجال الميكانيك ، يقوم على الضيق ، وعلى عدم اليقين المنبعث من استخدام مبادىء كلاسيكية ، وعلى توقع تجديد راديكالي .

كتب هنري بوانكاريه في كتابه « العلم والمنهج » يقول : « مهما يكنْ منْ أمر ، من المستحيل التملص من هذا الشعور بأن مبدأ النسبية هو قانون عام من قوانين الطبيعة وانه يستحيل ، وبأية وسيلة يمكن تصورها ، اثبات شيء غير السرعات النسبية . . . وقد اعطى الكثير من التجارب المتنوعة نتائج تتوافق بحيث تجر إلى اعطاء هذا المبدأ في النسبية قيمة تشبه قيمة مبدأ التكافؤ مثلاً . ويجدر في جميع الأحوال النظر إلى ماهية العواقب التي توصلنا اليها هذه الرؤية ، ثم اخضاع هذه العواقب لرقابة التجربة ».

وكتب بيار دوهيم يقول : « ان الميكانيك الجديد يحلل على أساس النوعيات ، ولكن من اجل التحليل الدقيق ، فهو يصورها برموز عددية . والميكانيك هو من مبتكرات ارسطو وهو أيضاً من اهتمامات ديكارت من حيث انه رياضيات شاملة . . . ».

. . . « كل ما يمكن التأكد عنه هو انه لا يوجد سبب منطقي يتيح النظر الى الميكانيك الموجود بجميع اشكاله ، وكأنه الشكل الذي لا شكل بعده . وبصورة خاصة ، ان دراسة الاشعاعات المتنوعة ، والتي تعطي ، منذ عدة سنوات للباحثين المجربين ، فرص الاكتشاف ، هذه الدراسة كشفت لهم مفاعيل غريبة يصعب اخضاعها للقوانين المعروفة في علم الترموديناميك المعروف من قبلنا ، بحيث انه لايستغرب انبثاق فرع جديد من الميكانيك صادر عن هذه الدراسة » .

ولكن بوانكاريه ودوهيم لم يقطعا الخطوة الحاسمة ، ان الانتقاد العميق لقياسات الأطوال والحقب ، هذا الانتقاد وضح الطبيعة الحقة الفيزيائية : طبيعة الارتباط التي أقامها مبدأ النسبية بين الفضاء والزمن ، وأن المعالجة الرياضية للنوعيات والتي احلتها النظرة النسبية ، ثانية وبالضرورة محل الكميات في العلم الكلاسيكي ، وان الأهمية الحاسمة المعطاة لمفهوم الطاقة في الرسيمات التأرجحية ، هذه كلها تعتبر مكتسبات لم تتولد الا بعد اعمال البير انشتاين .

وكان انشتاين ، منذ شبابه قد عرف كيف يحقق ما عجز عن تحقيقه كبار ممثلي العلم الكلاسيكي ، المحرجين ـ ربما ـ بمعرفة معمقة جداً بتعقيدات الموضوع ، فلم يجرؤوا أو لم يستطيعوا القيام به . ان الجرأة التي تتيح الاكتشافات الكبرى هي في أغلب الأحيان ثمرة الفتوة كما هي ثمرة المعارف المجزأة والمحدودة .

ولكن مهما كانت الأسباب التي منعت هنري بوانكاريه من الوصول إلى مجد تأسيس « النسبية » ، فإن تاريخ الميكانيك في القرن التاسع عشر ينتهي بواقعة إيجابية . ففي الحين الذي توصلت فيه الفكرة الى النضج في الحقل الكلاسيكي ، وحيث أتاح اكتمال الشكل التعليمي انتشاراً واسعاً في مجال التعليم ، هيأ انقسام الميكانيكيين ، حول انتقاد الأسس ، الأرض لقيام تطورات غير مرتقبة . ان الميكانيك الكلاسيكي ، بعد ان ورث اعمال القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر قد تلقى بذات الوقت ، وبخلال القرن التاسع عشر بنيته النهائية كما توفرت له الظروف التي تقتضي منه تجاوز نفسه . ومن المفيد ان نلاحظ من خلال هذا المثل الرائع ان العلم ، وهو وليد الانسان ، لا ينجو من قوانين الحياة الكبرى .

الفصل الثاني

استكشاف الكون الكواكبي

في الحقبة التي بدا فيها ـ خطأ بالطبع ـ ان النظام الشمسي قد قدم كل اسراره وحيث المواضيع ، مواضيع البحوث المطروحة منذ آلاف السنين قد استنفذت من الناحية العملية ، بدا تزايد قوة الآلات وكأنه الوسيلة الوحيدة من أجل توسيع الاستكشافات بحيث تشمل مجالاً جديداً هو مجال الكواكب . وسرعان ما قدم التقدم في الفيزياء المعداتي معلوماتٍ من نوع جديد وأدى الى قيام علم الفلك الفيزيائي . ان الدراسة المنهجية للعالم الكواكبي اصبحت ممكنة ، انها طريق جديد في البحث شكل العنصر الأصيل في الأعمال الفلكية بخلال القرن التاسع عشر .

وكان لا بد من انتظار القرن العشرين حتى تستطيع الفيزياء النظرية تفسير الظاهرات النجومية الفيزيائية ثم إجراء توليف المراجع الحاصلة . وإذاً في مجال علم الفلك الموقعي (المسافة بين النجوم ، حركة الشمس) ثم الميكانيك السماوي (الكواكب الجديدة والمرافقات غير المرئية) في هذه المجالات حصلت النتائج الأكثر بروزاً .

وشرع علماء الفلك بعد ان سبقوا بحكم الضرورة غيرهم من العلماء في المجالات الأخرى ، في تنظيم انفسهم . ان « المجلة الدورية » Monatlische correspondenz ، التي نشرها فون زاش Zach بعد (1800) ، بدت انها اولى المجلات الدورية العلمية المتخصصة . وتكونت الجمعيات ومنها في سنة (1820) الجمعية الفلكية ، Astronomical Society وفي سنة (1863) «جمعيّة علم الفلك الكواكبي Astronomische Gesellschäft » التي ارتدت صبغة دولية . وفي سنة (1871) تأسّست الجمعية الفلكية الايطالية « Societa degli Spettroscopisti » .

وغيرها من الجمعيات الأخرى . ولم تكن المشروعات الدولية وليدة الساعة . ولكنها أخذت ترتدي الآن ضخامة جديدة وتقوم بمهمات دائمة .

وتكاثرت المراصد في نصف الكرة الشمالي بشكل خاص مع الأسف . ولا يمكن هنا ذكر أشهرها نظراً لكثرتها . إنما نذكر ثلاثة من أشهرها مع ذكر أسماء مدرائها الأولين : مرصد هارفارد في كمبريدج في الولايات المتحدة سنة (1839) ومديره . و . ش . بوند W . C. Bond ؛ ومرصد بولكوفو Paul-kovo سنة (1839) ومديره ف . و . ستروف F . W . Struve ؛ ومرصد الكاب الملكي وقد اعيد تجهيزه سنة (1831) على يد ت . هندرسون T . Henderson .

والصفحات التي تفي لا توفي تماماً بغرض ذكر مجمل البحوث التي جرت . وحدها الأعمال التي تعطي فكرة عن مراحل سير التقدم ، قد دوِّنت هنا . ولكن هذه الأعمال لم تكن دائماً هي الأعمال التي تسترعي انتباه الجمهور .

I ـ المعدات الكبرى

من السهل نسبياً بناء عدسات صغيرة تعطي صوراً ممتازة رغم وجود علم بصريات غير متقدم ، شرط جمعها ضمن عُيَيْنِيَّات Oculaires ذات قوة ضعيفة . وتوسيع فتحة النواظير يطرح نوعين من المسائل : الحصول على صحون كبيرة من الزجاج المتناسق ، ثم تخفيض الزيغان الجيومتري (والذي تزداد كميته بازدياد مكعب الفتحة) ، الى حدٍ مقبول . وبانتظار التقدم البطيء الذي سوف يحصل ، اكتفى علماء الفلك لمدة طويلة باستعمال العدسات ذات الفتحة الصغيرة من أجل الإكتشاف الكمي لمجال غير متناهٍ .

التلسكوبات الأولى : إن مبدأ التلسكوب (او العاكس) ، قد وُضع منذ أيام غاليلي Galilée وفكرة المعدات الثلاثة اصبحت كلاسيكية وتعود الى منتصف القرن السابع عشر . واقترح غريغوري Gregory في سنة(1663) استعمال المرآة البارابولية أو البيضاوية المفرغة من وسطها كشبحية (Objec - tif) ، كما اقترح استعمال مرآة مقعرة ذات سطح اهليلجي الشكل تعيد ضُمَّةَ النور . أما العينية فتوضع وراء المهداف (Objectip) . ولكن نيوتن ابتكر جهازاً أبسط بالنسبة الى النموذج الذي بناه سنة (1668) ، وبه تُقاد الضمة جانبياً بواسطة مرآة مسطحة منحنية موضوعة على مسافة قريبة من بؤرة الشبحية (Objectif) .

وفي سنة (1672) قدم نيوتن للجمهور تيلسكوباً من نوعية جيدة هو أول عاكس قابل للاستخدام . وكانت فتحة الناظور فيه تساوي 25مم اما المسافة البؤرية فكانت 16 سم . وقد صنعه بيده . وبعد عدة تجارب اعتمد كمادةٍ للمرآة مزيجاً من النحاس والقصدير مضافاً اليه الزرنيخ فحصل على نوع من البرونز الأبيض سوف يستعمل فيما بعد بصورة منهجية . وقد توصل الى الاهتداء الى ابتكار تقنية الجَلْي مستخدماً مادة القار (La poix) بشكل خاص .

وصُنع اول تلسكوب غريغوري بعد سنة 1674 من قبل هوك . ولكن عملية الجلي هي عملية دقيقة . وكان أول من حققها فعلاً بعد نيوتن هو هادلي Hadley ابتداءً من سنة 1720 . وقام هادلي أيضاً بتجارب حول اعطاء الشبحيات (Objectifs) شكلاً اهليلجياً : في حين كانت الشبحيات الأولى ذات سطح كروي . وكان الزيغان الناتج عن الكروية مقبولاً ما دامت فتحة الشبحية صغيرة .

وبعد ذلك صنعت تيلسكوبات عديدة وخاصة في انكلترا . وكان اكبرها ذا قطر يبلغ اربعين سم ، ولكنها لم تكن ذات تفوق حقيقي على العاكسات المستعملة ، في حين كان سعرها مرتفعاً (حوالى الف استرلينية) . ومن جهة اخرى فضّل المشتغلون بالبصريات يومئذٍ ، على البرونز الأبيض المعروف ، برونزاً اغنى بالنحاس سريع البَهتَان ويتطلب عناية منتظمةً . وكانوا يومئذٍ يقومون باعادة التلميع الطويل والمكلف في حين كان بامكانهم الاكتفاء بتنظيف بسيط بالكحول وغبار الطبشور . وبقي الفلكيون المحترفون ، محدودو الموارد المالية بصورة دائمة ، امناء للعاكسات القديمة .

وليم هرشل William Herschell : عندما تحقق وليم هرشل (1738 - 1822) الراغب بالحصول على تلسكوب ، ان ما لديه من مال لا يسمح له بشرائه ، فكر بصنع واحد بنفسه وكان النموذج النيوتني الذي اختاره ، في سنة 1774 مع المرايا التي صقلها ، آلة ممتازة . وبعد 1778 كان بحوزته آلة طولها 7 أقدام (ما يقارب مترين ، أما الفتحة فكان طولها 15 سنتم) تتجاوز ليس فقط العاكسات الموجودة يومئذٍ بل ايضاً ولأول مرة الكاسرات (réfracteurs) . وبعدها اخذ يتفحص السماء بصورة منهجية وبذات الوقت اخذ يبني آلات اكثر فأكثر قوة . وسرعان ما اشتهر كنظاراتي ، ومول ابحاثه بالمكاسب التي حققها من بيع ادواته .

وفضلاً عن المرصد « ذي السبعة أقدام » ، الذي بواسطته حقق اكتشاف الكوكب اورانوس سنة 1781 ، كانت أشهر معداته ذات طول يبلغ 20 قدماً (أي ستة أمتار والفتحة 48 سنتم) ودخلت في الخدمة بصورة مستمرة ابتداءً من 1783 . وبعد ذلك بنى المرصد الكبير وطوله أربعون قدماً (12 م وفتحته 122 سنتم) . ولم يكن المرصد الأخير يتمتع بميزات المراصد السابقة كما أن حرارته المرتفعة كانت تجعله غير قابل للاستعمال في أكثر الأحيان . ولكن المرصد ذا العشرين قدماً والمستعمل بدون مرآة ثانوية (مع انحناء قليل في محور المرآة بالنسبة إلى الأنبوب ، مما يتيح العكس المباشر لضمة الضوء فوق منظارٍ مثبت في الأنبوب) يعطي صوراً دقيقة للغاية ويسمح باستكشاف السماء إلى حدود الكواكب ذات الضخامة من الدرجة 14 . وإذا كانت مشاريع و. هرشل قد تكللت بالنجاح ، فذلك أنه كان يهتم ، رغم آلاف الساعات المخصصة لجلي المرايا ، بدراسة معمقة لكل من المسائل الجديدة التي تطرح نفسها عليه . وبدا كطليعي في مختلف المجالات ، من ذلك أنه درس حلقات الزيغان . وإذا كانت نظرية الزيغان لم تتم إلا فيما بعد (من قبل آري Airy في سنة 1834 وشوارد Schwerd 1835)إلا أنه ـ أي هرشل ـ استمد منها التعليم الأساسي : قطر الصحن المركزي يتغير عكسياً مع قطر الشبحية ، ومن جهة أخرى حدد نزولاً تباعد الصورتين القابلتين للفصل . وبالتالي فقد حسّن رؤية تفصيلات الصور (ملاحظة ورصد السطوح الكوكبية ، ثم تفكيك المجرات إلى كتل من النجوم ، الخ) ، وعرف أن كل ذلك مرتبط إذاً بتزايد قطر الشبحية ، هذا مع وضع مسألة الانارة جانباً . ودخلت الدراسة العقلانيةُ للجهاز الأكثر ملاءمة لتأمين إنتاجية ابصارية حسنةٍ ، مع قياسات عوامل انعكاس المرايا وعوامل نقل العدسات .

التلسكوبات الحديثة : إن العامل الأكثر أهمية في مرصد كبير هو بالدرجة الأولى الجهاز الذي يؤمن عدم تشوه المرآة . ومن غير المفيد انجاز سطح بصري دقيق إذا لم يستمر ثابتاً أثناء عمليات

الرصد ، والتشويهات البالغة ربع طول الموجة ، أي جزء من ألف من الملم تبدو مضرة . ودخل عن طريق التلسكوبات التي بناها لورد روس Rosse (وليم بارسون W.Parsons) نظام ميكانيكي يحمل المرآة بشكل مخدة ، موزعاً الاندفاعات بشكل ملائم مهما كان اتجاه التصويب .

ولم يكن بالامكان يومئذٍ تخفيف المفاعيل الحرارية بشكل ملائم . إن الآلة الكبرى ذات الفتحة 182 سنتم وذات 17 م طولاً ، والتي وضعت في الخدمة سنة 1845 ، والتي اعتبرت يومئذٍ أكبر عاكس وجد حتى سنة تفكيكه في العام 1908 ، لم تعطِ النتائج المأمولة . ولكنها مكنت من اكتشاف سدائم حلزونية عُرِفَ منها 14 منذ سنة 1850 . إن قوة الزجاج وضعف طاقته على التمدد هما العاملان الرئيسيان في التقدم الحاصل من جراء استبدال الزجاج الفضي ووضعه مكان البرونزي في المرايا. فضلاً عن ذلك لقد زادت القدرة العاكسة كما أن عملية عدم الاضرار بشكل السطح قد تحققت وذلك عن طريق اعادة التفضيض الأمر الذي اغنى عن إعادة الجلي . ويعود تاريخ تقنية التفضيض إلى سنة 1851 . وسوف تطبّق في علم الفلك سنة 1856 ، وبآن واحد في باريس من قبل فوكولت Foucault وفي ميونخ من قبل ستنهيل Steinheil . وارتدى التلسكوب بصورة تدريجية مظهره الحالي . ويعود الفضل في ابتكار البرميل الذي يخفف من الانحناءات إلى و. لاسيل W.Lassel الذي ادخل أيضاً في سنة 1840 الحاملة الاستوائية أو الحاضنة وبذات الوقت مكن التتبع الأوتوماتيكي تتبع حركة النهار وكان هذا التجهيز الأخير قد أدخل على الكاسرات بعد أن انجزه فرونهفر Fraunhofer من أجل مرصده الاستوائي في دوربات Dorpat سنة 1824 وكان ج . د . كاسيني J.D.Cassini قد استعمله لمدة طويلة من قبل إنما لتوجيه شبحية منظار بدون انبوب .

النظارات : لقد توقف تقدم الكاسرات منذ انشاء الشبحيات الأولى الاكروماتية [التي تُنفذ الضوء بدون تحليله] ، وذلك بفضل استحالة العثور على عدسات من الفلانت (زجاج من الظرّان) من النوعية الجيدة يتجاوز قطرها 10 سنتم . وإلى الحرفي السويسري بيار لويس غينان P.L.Guinand ، يعود الفضل في ابتكار الوسيلة التي تؤمن تناسق عجينة الزجاج خلال عمليات التبريد . وإلى تلميذه فرونهوفر يعود الفضل في إيجاد الاستوائي ذي 24 سنتم والذي أقيم في دوربات (تارتو Tartu اليوم) في استونيا ، سنة 1824 بناءً لطلب ف . و . ستروف F.W.Struve . واشتهرت الآلة بالشبحيّتهامن قيمة نظراً لحسن تصويبها بفضل الأعمال التي أتاحتها وبفضل ما أتاحت من نهضة وبعث في علم البصريات النجومية .

وبعدها أخذت تبنى الكاسرات ذات الأحجام المتزايدة . وكانت الشبحيات في الكاسرات تؤخذ من صحون كان يصبها غينان Guinand . وقام ابن هذا الأخير بتأسيس معمل للزجاج في باريس ما يزال قائماً اليوم (بارا ـ مانتوا) Parra - Mantoie . ومن هذا المعمل تخرج الصحون اللازمة للشبحيات الضخمة التي يفصّلها النظاراتي الاميركي الفان كلارك Alvan Clark ، وبصورة خاصة شبحيات المراصد الاستوائية في بولكوفو Poulkovo (76 سنتم في سنة 1885) ومرصد ليك Lick (91 سنتم سنة 1888) ومرصد يركس Yerkes (102 سنتم سنة 1897) .

وكانت الكاسرات دائماً مسبوقةً بالعاكسات من حيث امكانيات توسيع المجال السماوي المدرك .

انها أجهزة مخصصة للاسترومتريا astrométrie البصرية أو الفوتوغرافية من حيث أنها تحتوي على جهاز ارتجاعي آلي محدد وعلى قطعة بصرية واحدة تنزل فوق الضمة وتعمل عن طريق الانكسار . ويكفي فيها اعطاؤها ضخامة معتدلة . أما العدسات الكبيرة جداً فقد وجدت بفعل الدفعة الأساسية لا بحكم الضرورة .

II - التقنيات الجديدة

مع تقدم الفيزياء التجريبية وسّع عالم الفلك بشكل ضخم حقل استقصائه . فقد أصبح بامكانه أن يحلل وأن يزين الاشعاع المنبثق عن الكواكب ، التي كان في الماضي يكتفى منها بتتبع منازلها . واستبدال التسجيل ، بدلاً من المراقبة المباشرة ، كان له من جهة أخرى تأثير على مناهج العمل ، وفرض ، بصورة تدريجية ، الانضباط العلمي الذي وسم بشكل عام البحوث الحديثة .

التحليل الطيفي : في سنة 1802 ، وبعد تلقي طيف رزحة ضوئية شمسية ، فوق لوحة ، من خلال شق ، لاحظ و . هـ . ولاستون W.H.Wollaston على هذه اللوحة سبعة خطوط قاتمة ، ذات مواقع نسبية محددة تماماً . ومن خلال نظارات موضوعة وراء مشطور ، استطاع « فرونهوفر » Fraunhofer أن يقوم سنة 1814 بتحليلٍ أكثر دقة للظاهرة ، كما لاحظ وجود مئات الخطوط . واهتم بالقدرة التوزيعية في مختلف الزجاجات ، فرأى فرونهوفر في هذه الخطوط معالم دقيقة من القياسات . واكتشف الموقع النسبي لكل منها ، ثم وضع أول خارطة للطيف الشمسي . وما زالت الجدولة التي حددها للخطوط الخمسة الأكثر زخماً مقبولة . وفي ما خص الخط D ، الرابع باتجاه التوزعات المتصاعدة ، لاحظ التطابق مع خطٍ براق ضمن طيف صادر عن لمبة من الصوديوم .

وهذا التطابق لم يكن عفوياً . فقد بيّن فوكولت Foucault ، سنة 1849 ، أن الخط D من الطيف الشمسي يكون قوياً إذا اجتاز النور قوساً كهربائياً من الصوديوم . إن خاصية الامتصاص من قبل وسط إرسالي قد تقرر شرط أن يكون طول الموجة والوسط خاصين فقط . وكشفت التجارب التي قام بها بونسن Bunsen وكيرشوف Kirchhoff في هيلدلبرغ العُنصر الأكثر أهمية في هذه الظاهرة وهو : عند وضع شعلة من لمبة الصوديوم لتقطع الشعاع النازل ، يلاحظ في مكان الخط D خطاً قاتماً (امتصاصياً) أو براقاً (ارسالياً) وذلك بحسب ما تكون درجة حرارة الشعلة متدنية أو مرتفعة . لقد تم العثور على مصدر أشعة الطيف الشمسي : غطاء فضائي أقل حرارة من سطح الارسال يمتص الاشعاعات التي تميز العناصر التي يتألف منها هذا الغلاف ، ومن بين هذه العناصر يقع الصوديوم بشكل خاص .

ويمكن بالتالي تحديد تاريخ ولادة « الاستروفيزياء » في 27 تشرين أول سنة 1859 ، وهو يوم أعلن فيه كيرشوف أمام اكاديمية برلين مداخلته الشهيرة . ولكن الحدث تجاوز الى حد بعيد اطار علم الفلك « الاسترونوميا » . فقد ترجم [أي الحدث] أول ظهور معروف لدور الظروف الخارجية (هنا درجة الحرارة) في البنية الداخلية للعنصر . وبهذا المعنى فَتَحَ عصرَ الفيزياء النظرية وبالتالي عصر العلم الحديث . واتاح هذا الحدث معرفة وجود عدد من العناصر المعروفة فوق سطح الأرض ، في الشمس ثم في بقية الأجسام السماوية ، مما يدل على الصفة الشمولية للكواكب كما يدل

على شمولية القوانين التي تحكم هذه الأجرام .

وإذا كان من المؤكد تماماً أن الإلهام الذي تمتع به نيوتن عندما اكتشف قانون الجاذبية الكونية ، لا يقاس به الإلهام من أجل الاعلان عن قانون كيرشوف ، فإنه بالإمكان التأكيد على أن أهمية هذا القانون تعتبر غالبةً ، سواء من وجهة النظر العلمية أم من وجهة النظر الفلسفية . إن الاهتمام الذي تركز بعد ذلك على التحليل الطيفي أدى إلى نمو سريع فيما يسمى « بالسبكترومتري » التي تهتم بمَعْيَرَةِ الأطياف ثم « السيكتروسكوبي » الفلكية .

ومن أجل الحصول على طيف عادي أي ممتد بشكل يتناسب مع اطوال الموجات ، استُبدِلَ مفعولُ التشتت الموشوري « البريسمي » بمفعول تشعب الشبكة الضوئية Réseau ، وهي لوحة شفافة أو عاكسة تحمل مقاسات دقيقة ومنتظمة . وهذه الأداة يعود الفضل فيها إلى « فرونهوفر » الذي قاس هكذا أطوال موجة الشق المزدوج D ، بعيد 1821 . وعرف ل . م . روذر فورد L.M.Rutherford عاجلاً كيف يرسم شبكات متلاصقة جداً تتضمن 8 آلاف خط ضمن السنتيمتر الواحد . أما هـ . آ . رولاند Rowland فقد أوجد الشبكة الموضوعية ،وحفر مباشرة الشبكة فوقشبحية تلسكوب صغيرة .واعطى ابتداء من سنة 1895 أطوال موجة 20 ألف خط في الطيف الشمسي .

يمكن لعلم الأطياف (سبكتروسكوبي) الفلكية أن يعمل بواسطة السبكتروسكوب الكلاسيكي ذي الشق . ومن السهل تمرير حزمة عَبْرَهُ ، منبثقةٍ عن مصدر ضوئي مرجع (شعلة ، وفي ما بعد شرارة) ، إن المشطور الشبحي هو أكثر ضوءاً ، ولكنه يعطي عن النجوم ظِلالاً خيطية الشكل ، باعتبار أن القطر الظاهر للشيء معدوم . ولتوسيع الظل ، كانوا يستعملون في ذلك الزمن عدسة اسطوانية ، كما فعل فرونهوفر . والكشف المفصل لظلِ نجومي بصري قد يتطلب مئات الساعات من الرصد، وهذا يعطي فكرة عن ضخامة العمل الذي قام به مستعملو السبكتروسكوب . وهذا العمل استمر وتتابع حتى سنة 1880 .

إن التسجيل الفوتوغرافي للظلال أو ما يسمى « بالسبكتروغرافيا » سرعان ما ساعد على تخفيض وقت الأرصاد الفلكية بحيث تقتصر على مدة حلقة ، وفضلاً عن ذلك مكن التسجيل من التعرف على الظل فوق البنفسجي . وبعد 1875 ، حصل هوغينز Huggins على نتائج مرضية بواسطة آلة كان منظارها أو باصرها من الكوارتز ومشطورها من حجر السباث (Spath) ، وهما حجران قلما يمتصان الأشعة التي تؤثر في الصفائح « البلاكات » . واستخدام المشطور الشبحي يتيح تصوير اطياف كل الكواكب في حقل معين بآنٍ واحد . وقد جعل استعمال هذا المشطور بالامكان وضع « كاتالوغ » عام من الأطياف الفلكية قام به أ . ش . بيكرنغ E.C.Pickering ابتداءً من سنة 1885 .

إن السبكترسكوبيا النظرية البصرية قلما تخضع لدراسة مفعول دوبلر ـ فيزو Doppler Fizeau ، أو الفرق بين الخُطوط الذي تتسبب به الحركةُ المركزية المتعلقة بالمصدر . إلا أن هوغينز قد توصل في سنة 1868 إلى اثبات تنقل سيريوس «Sirius» بمعدل 2 على 10 آلاف من المساحة التي يحتلها الطيف الضوئي معبراً عن سرعةٍ مركزيةٍ قريبةٍ من 50 كلم في الثانية . وقد استعمل سبكتروسكوب ذا شق كثير التشتت ، يتضمن لا أقل من 13 موشوراً . ولكن النتائج كانت نادرة وتافهة . وهنا قدمت

السبكتروغرافيا تطويراً حاسماً جداً .

الفوتومتريا : إن مبادىء التعريف ودراسة لمعة مصدر ضوئي قد وضعها بوغر **Bouguer** وأعماله حول « تدرج الضوء » المنشورة سنة 1729 و 1760 جعلت منه شيخ الفوتومتريا .

وكان لا بد من اتخاذ تدابير نسبية ، وذلك بتنويع ـ وفقاً لقانون معين ـ الدفق الضوئي الصادر عن مصدر شاهد طبيعي أو اصطناعي ، بشكل يعادله (في القيمة المطلقة أو في الزخم) مع الدفق الصادر عن الشيء المدروس . وأول جهاز مستخدم لغايات فلكية كان ، على ما يبدو الجهاز الذي وضعه ج . هرشل J.Herschel في مدينة الكاب سنة 1836 : فقد استعمل « كمصدر ـ شاهد » الجزء من الاشعاع الصادر عن القمر ، والمنقول بفضل موشور ذي انعكاس كامل ، ويكون الدفق الضوئي خاضعاً للتعيير بحسب الإرادة ، لأنه يتغير وفقاً لعكس مربع مسافة المشطور . وهكذا تيسّر ضم لمعانٍ مئةٍ وإحدى وتسعين نجمة ، بعضها إلى بعض ، بحيث تم تشكيل أول سلم فوتومتري كواكبي .

وقد اتاح فوتومتر ستنهيل ـ الذي يعود تاريخه إلى نفس الحقبة ـ ، المقارنة المباشرة بين صور نجمتين كان مشطوران مستقلان يوجهان ضوءهما نحو الجهاز . وقد تم البحث عن معادلة زخم الصور خارج البؤرة والتي تقدّمها شبحيتان يمكن تحريكهما فوق محور . وهذا المبدأ كان تافهاً . ومع ذلك استنتج ستنهيل منه ومن مقاييسه القانون الفوتومتري الذي يحمل اسم فكنر Fechner . إن مبدأ الانطفاء الأقدم ، وبموجبه تطفأ الصورة بادخال حاجز زجاجي ممتص ومعير سابقاً ، ليس افضل . ولا يؤتى هنا على ذكره إلا من أجل الاستعمال الزاخم الذي طبقه بشأنه بريتشار **Pritchard** من سنة 1881 إلى سنة 1885 .

إنه باستعمال الانقاص إستطاعت الفوتومتريا الفلكية أن تنمو وتتطور . وإدخال بلورتين (نيكول ، nicols) ثانيتهما قابلة للتوجيه بخفض الدفق الضوئي ضمن نسبة قابلة للتغيير يقدمها قانون مالوس (1811) . ويمكن أيضاً استبدال البلورة الأولى بمشتت مزدوج للضوء عادي ، ثم اجراء المقارنة المباشرة بين دفقين ضوئيين نازلين وذلك بقياس زاوية وضعين للبلورة القابلة للتوجيه ومن شأن هذين أن يعادلا الزخم في الصور .

والثاني من هذه الأجهزة ، المسبوق بشبحية واحدة يطبق على مقارنة النجوم المتقاربة جداً . إنه أول فوتومتر لآراغو (1850) . وبواسطة شبحيّتين، قارن أ . ش . بيكيرنغ **E.C.Pickering** بين نجمتين هاجريتين مختلفتي الارتفاعات . وشكلت التحديدات المحققة ابتداءً من 1879 بواسطة هذه الفوتومترات الهاجرية ، وما تزال القسم الأساسي من معارفنا حول الضخامة الكواكبية المرئية .

وأول هذين الجهازين من الفوتومترات ذوات المستقطبات هو ذو استعمال اعم : فهو يتيح فقط تخصيص ضوء منبعث من مصدر احتياطي رديف ، وبالتالي فهو يعالج النجوم الضعيفة جداً أو الدراسة المحلية لمختلف مناطق الطيف . وصورة نجمة اصطناعية تدخل بعد استقطاب مزدوج بشكل صورة دقيقة ، ضمن السطح البؤري من شبحية نظارة عادية . ذلك هو التركيب الذي حققه زولنر **Zöllner** حوالي 1860 ، والذي أصبح نموذج الفوتومتر الأكثر استعمالاً .

وتقوم الطريقة الفوتوغرافية على تقدير زخم الدفق الضوئي المستقبل من نجمة سنداً لحجم الصورة الفوتوغرافية . لقد اقترح و.ك . بوند W.C.Bond الطريقة الفوتوغرافية بعد أن درس تأثير الوقت الاستراحي على هذا الحجم ، بعد 1858 . واستخدامها يجب أن يتم بعد استباقه ببحوث طويلة ، تتعلق ، من جملة عناصر اخرى باختيار البلاكات والشبحيات . والدراسات التي قام بها بيكيرنغ ابتداءً من سنة 1882 قادته إلى فصل فكرة الضخامة البصرية عن الضخامة الفوتوغرافية ، وهو تمييز رئيسي لأنه قاده إلى تحديد درجات الحرارة الكواكبية . وليس إلا في بداية القرن العشرين أتاح استعمال البلاكات « الاورتوكروماتية » (ذات المجال الحساس كالذي للعين) أتاح تطوير ونمو الفوتومترية التصويرية ، المعادلة للفوتومترية الأكثر سهولة استعمال منها .

قياس الاشعاع الحراري « الكالوريفيكي » : إن قياس الزخم الكالوروفيكي قد امكن أن يتم بنوع من الدقة بعد أن كشف سيبيك في سنة 1821 المفعول الحراري الكهربائي : ينطلق تيار كهربائي في حلقة مختلفة النوعية وذلك عندما ترفع الروابط التي تصل بين مختلف الموصلات إلى درجات من الحرارة متنوعة . إن « البطارية الحرارية » « الترموبيل » التي صنعها ميلوني Melloni تتضمن سلسلة من العناصر الحرارية (البسموث والانتيموان) ، التي يظهر لحمها بالتناوب على سطحي الجهاز ، إن أحد الوجوه ، المسود قد تعرض للاشعاعات . وفي سنة 1843 أوصلت الدراسة المفصلة للطيف الشمسي ميلوني إلى التأكيد أن التشعيع ، والتشعيع الحراري « الكاروليفيكي » هما مظهران لذات الظاهرة ، وذلك خلافاً للأفكار المضللة التي سبق أن شاعت منذ أن اكتشف و. هرشل في سنة 1800 الاشعاع تحت الأحمر . إن خاصية المقاومة في المعادن تختلف تبعاً لدرجة الحرارة . وعلى هذا قام مبدأ « بولومتر » لانجلي Langley 1880 الحساس الذي يسجل فرق درجة حرارة من معيار مئة جزء من أصل الف جزء من الدرجة . هذا الجهاز تَفوّقَ لمدة من الزمن على الترموبيلات الأخرى ، ومكّن لانجلي من اكتشاف ومن دراسة الخيوط وضمائم امتصاص ما تحت الأحمر .

إن تلقي الاشعاع الكواكبي الضعيف جداً هو رائز من روائز الحساسية . وقد مكنت منه « العناصر الحرارية » بعد سنة 1868 ، فقد استطاع هوغينز اكتشاف بل وقياس اشعاع بعض النجوم البراقة . وبعدها أدى إليه أيضاً مفعولان فيزيائيان ، تبين فيها بعد شدة حساسيتها : ففي سنة 1895 ظهر المفعول التصويري الكهربائي (تسجيلات ج . م . منشين G.M.Minchin ، بواسطة خلية من السيلينيوم) وفي سنة 1898 ظهر ضغط الاشعاع (راديو متر نيكولس) .

الفوتوغرافيا: لم تقدم «الداغيروتيبيا»التصوير الداغرّي ، التي يعود تاريخها إلى سنة 1839 أية مساهمة لعلم الفلك ، ولكنها أتاحت الحصول على مستندات مفيدة . من التسجيلات الأولى ربما كان التسجيل الذي قام به ج . و . درابر J.W.Draper للقمر سنة 1840 . وفي سنة 1845 أخذ فوكولت وفيزو Fizeau صورة داغرّية للشمس . وبدأ عهد « الفوتوغرافيا» سنة 1850 ، مع استعمال البلاكات المغطاة بمزيج رطب من الكولوديون collodion وهو اسلوب حساس نسبياً ويقدم بروفات يمكن اعادة انتاجها .

ومنذ 1853 ، في لندن حصل وارن دي لارو Warren de la Rue على صور ممتازة للقمر في بؤرة

تلسكوب بناه بنفسه وأداره باليد . إن مسألة التوجيه الدقيق لم تطرح بالنسبة إلى الشمس ، ذلك أن العرض قصير جداً ، وكان على الفوتوغرافيا الفلكية أن تتطور إلى الأحسن في هذا المجال . وبهذا الشأن انجز دي لا رو ، في سنة 1857 « فوتوهيليوغراف » ، وهو منظار مزود بشبحية من عيار 9 سنتم مصحح من الظلال بالنسبة إلى الأشعة المؤثرة في البلاكات أي اللون البنفسجي . وركبت هذه الآلة في سنة 1861 في المرصد المسمى « رويال استرونوميكال سوسيتي » ، في كيو Kew فأتاح الحصول على سلسلة طويلة من « الكليشيات » ، مكنت من البدء بمراقبة الشمس مراقبة منتظمة . وهكذا بدأ المشروع الأول العلمي المتميز بالديمومة .

وأدى استعمال اللدائن الجافّة من « جيلاتينو برومور » الفضة ، المحققة فيما بين 1871 و 1879 ، وهي أكثر حساسية وأقل تعرضاً للتشويه الاعتراضي من طبقات الكولوديون الرطب ، إلى بدء عهد الفوتوغرافيا الحديثة . وبعدها اصبحت كل التطبيقات ممكنة : فوتوغرافيا النجوم والأشياء الضعيفة أو المنتشرة ، تسجيلات الأطياف ، وقياس دقيق لانحرافات الزاوية عن طريق الكشوفات الميكرومترية فوق الكليشيات . وقد دونت كل التقديمات التي حققتها الفوتوغرافيا هنا . إن القيادة الميكانيكية « للاستوائي » تتطلب ، دائماً ، المراقبة . إن جهاز القيادة والتوجيه ، مع الشروط الخاصة المفروضة على باصرة الشبحية ، هو ما يميز آلة مخصصة للفوتوغرافيا . ويتم الأمر ، بتذكيرات مناسبة من أجل المحافظة على صورة نجمة ما ، فوق تصالب خيطين . وفي التيليسكوبات ، يمكن اختيار هذه الصورة مباشرة ضمن حقل الشبحية ، وهناك معاين أو مبصار ملتصق بالشاسي الحاملة للبلاكات والمركزة إلى جانب هذا المبصار الذي تتم بالنسبة إليه التصحيحاتُ . ذلك هو الجهاز الذي صممه كومون Common الذي حصل منذ 1882 بواسطة تيلسكوبه من عيار 90 سنتم ، على فوتوغرافيا ممتازة لسديم أوريون Orion ، وفي النظارات عندما تضبط الشبحية خاصة لأطوال الموجات فمن الضروري اعداد منظار منفصل ذي شبحية بصرية ملتصقة بالمنظار الأول . وهذا الجهاز هو الأكثر ملاءمة لتصوير النجوم . وقد اعتمده الأخوان هنري في سنة 1885 في استوائيهم الفوتوغرافي من عيار 33سنتم . وبعدها زودت بهذا الجهاز النسخ الثماني عشرة ، والتي وضعت في تصرف مشروع «خارطة السماء» .

تقدم التقنيات الكلاسيكية : لم تتقدم التقنيات الكلاسيكية فيما يتعلق بعلم الفلك إلا تقدماً بطيئاً . فالمنظار الهاجري لرصد المرات ، والذي بُني اخيراً بالشكل الذي تصوره رومر Roemer ، والدائرة الهاجرية ، جُمعا في جهاز واحد . إن ج . بوند J.Pond وهو فلكي ملكي ، وخليفته آري Airy وبصورة خاصة بيسل Bessel ، سوف يوضحون الشروط العقلانية في استعمال الآلة الهاجرية : تحديد الثوابت الآلية ، وتتبع العامودي بمراقبة النظير (السمت) أي بالتصويب الاوتوماتيكي فوق سطح مجمع من الزئبق ، مع الأخذ بالاعتبار اخطاء ترقيم درجات الدوائر المقسومة . وبواسطة هذه الطرق ، وبتحسين قيم الثوابت الفلكية تضاعفت دقة قياسات الميل عبر القرن وخفض الخطأ الوسطي إلى ثلاثين جزء من الثانية (0",30) تقريباً . وبالنسبة إلى الصعود المستقيم حصل تقدم اساسي بفضل « الميكرومتر » غير الشخصي . فقدَ بَيَّنَ بيسل سنة 1823 أن رصد لحظة المرور بالنسبة إلى نجمة ما وراء

خيط ، منقوصةً بمعدل فردي شخصي ، هو الخطأ في التقدير العائد لكل راصد ، وهو خطأ منهجي إلا أنه غير ثابت .

ويتضمن الميكرومتر اللاشخصي ـ وفكرته ليست أصيلة ، إلا أنه لم يوضع بشكل صحيح إلا من قبل ج . ريسبولد Respold سنة 1889 ـ يتضمن خيطاً متحركاً بواسطته يتتبع الراصد تنقل الكوكب . وهناك تسجيلات للزمن محكومة بنظام جر الخيط ، عندما يمر هذا الخيط في نقط موضوعة بشكل منتظم عن يمين وعن شمال خط الهاجرة . وهذا الجهاز خفض معدل ضخامة الأخطاء الصاعدة صعوداً مباشراً ورده إلى معدل الأخطاء المتنازلة . وتفوقه هو من المكانة أنه ، في الدراسات الحديثة للحركات الخاصة ، لا يؤخذ في الاعتبار رصودات المصاعد المستقيمة الجارية بواسطة آلات غير مزودة بميكرومتر « لا شخصي » ، رغم الأهمية التي ترتديها القياسات المتباعدة بفترة طويلة من الزمن بالنسبة إلى هذا النوع من الدراسات .

لقد سهلت الكهرمغناطيسية بعض المسائل المتعلقة بالزمن . إن نقل الزمن ـ من أجل تحديد خطوط الطول بواسطة اشارات تنصت يدوية تنقل بواسطة التلغرافيا ـ قد أوحى به مورس Morse سنة 1839 ، وحقّقه الاميرال ويلكيس Wilkes ، في الولايات المتحدة ، بعد 1844 . إن مبدأ تضبيط الرقاصات بفعل الالكترومغناطيس فوق أرجوحة الرقاص المحكوم ، قد وضع في سنة 1847 من قبل فوكولت . و « العدادات المسجلة » و « الكرونوغرافات » الأولى ، التي حققت تسجيل الزمن (ضربات رقّاص ولحظات حدوث حدث) بواسطة التسجيل فوق اسطوانة أو فوق شريط بواسطة ابرة قلم محكومة بمغناطيس كهربائي ، يعود تاريخها إلى نفس الحقبة . وحل هذا الأسلوب بالنسبة إلى ارصاد العبور ، محل الأسلوب المسمى « اسلوب العين والأذن » ولكنه لم يحسن بشكل واضح القياسات إلا عندما ضم إليه الميكرومتر غير الشخصي .

III - اورانومتريا أو « فن وصف السماء »

ارتبط تقدم العلوم بشكل حثيث بتقدم التعريف بقياس الوحدات . وعندما اتاحت معرفة الوقائع الجديدة كسب جزء عشري من الدقة التي يحسب بها معيار القياس ، اظهرت قياسات القيم المرتبطة بالوحدة المعادلة ، بدورها آثاراً جديدة . وهنا يبدو أحد مظاهر الرسمة العامة للتطور العلمي .

وبواسطة التواتر ، وبصورة خاصة تواتر الموجات الكهرمغناطيسية ، دخلت احدى الكمّيات الاساسية ، وهي الزمن ، اليوم بشكل دائم في الحياة اليومية ، إما مباشرةً أو بواسطة المحصولات المصنّعة . إن العناصر الفلكية التي تستخدم في تحقيق المدرج الزمني وتعريف وحدته ، وهي الثانية ، بدت بالتالي عوامل مهمة في ظروف حياتنا ووجودنا . وهذه العناصر هي : « جداول الشمس والكواكب » وكذلك كاتالوغات الكواكب . وهنا يوجد موضوع للتأمل بالنسبة إلى العقول الغضة التي تعتقد امكانية الفصل بين البحث التطبيقي والعلم الخالص .

إن الأورانومتري أو فن وصف السماء موضوعه تحديد مواقع النجوم نسبياً أي وضع كاتالوغات للكواكب .

كاتالوغات اساسية . مبادرة الاعتدالين ـ للنجوم حركات خاصة بها ذاتية . وكاتالوغ الكواكب الأساسية يشتمل على المواقع وعلى الحركات الخاصة (أي على الاحداثيات الاستوائية وعلى تغيراتها السنوية) لعدد صغير من الكواكب البراقة التي خضعت للعديد من القياسات المطلقة . إن اتجاه الاعتدالين يؤخذ كمنطلق للاحداثيات أما عناصر الكاتالوغ فمرتبطة بالقيمة المعتمدة للحركة السنوية لحركة الاعتدالين أو ما يسمى بثابت تحرك الاعتدالين .

والقيمة الأولى الدقيقة « لثابت مبادرة الاعتدالين » تم الحصول عليها من قبل بيسل Bessel سنة 1815 ، بواسطة تحليل الحركات الذاتية الظاهرة (والتي تتضمن مفعول تنقل نظام الاستناد) في الكواكب المنسوبة إلى برادلي (يراجع المجلّد الثاني) . أما أعمال بيسل اللاحقة (1818)وو. ستروف Struve (1842) الذي اهتم بحركة انتقال الشمس الى سمتها ، ثم عمل س. نيوكومب Newcomb (1898) ، هذه الأعمال جميعاً أوْصلت تباعاً إلى القيم التالية ، (التي يجب ارجاعها إلى سنة 1900): (50″, 248; 50″, 264, 50″, 256) ، ويمكن تقدير أهمية هذه الفروقات من خلال وقعها في مدرج الزمن الذي يتمدد بمدة ثانية في السنة هذا إذا زيد الثابت بمعدل : 0″,04 . وتبقى القيمة الاصطلاحية المقبولة حالياً هي القيمة التي حددها نيوكومب .

إن الملاحظات الأساسية التي قام بها مسكيلين Maskelyne الذي تولى ادارة مرصد غرينتش بعد برادلي Bradley تناولت 36 نجمة .

أما الأرصاد التي نشرها بيازي Piazzi ، في باليرم Palerme في سنة 1806 فتناولت 220 نجمة . وحاول لوفيري Le Verrier أن يدخل التطبيق العملي لهذا النهج في فرنسا ، ونظم الرصد المستمر لعدة مئات من النجوم على أساس من المبادىء لم تكتشف قيمتها إلا بعد ذلك بكثير ، ولكن وبصورة رئيسية تكونت النظم الأساسية على أساس الأرصاد التي جرت في غرينيتش وفي بولكوفو .

وبتأثير جيد من بيسل توجه مرصد بولكوفو الذي تأسس في سنة 1833 ، نحو علم الفلك المواقعي ، من قبل مؤسسه ف. و. ستروف . ونشر الكاتالوغ الأول الأساسي لمرصد بولكوفو سنة 1868 من قبل و. ستروف ابن السابق والمدير الثاني للمرصد وتضمن هذا الكتالوغ 336 نجماً . وتلاه الكثيرون حتى اليوم دون أن يتوقف العمل توقفاً ملحوظاً . وتدل الأرصاد التي جرت في غرينيتش ضمن روحية محافظة تقليدية ، على القليل من تنويع المناهج ، ولكنها تميزت في البداية بتفوق المعدات . فقد أمكن الاحتفاظ لمدة تزيد عن القرن بعمل الآلة الهاجرية التي وضعها سنة 1850 آري Airy الذي أمّن وظائف الفلكيين الملكيين طيلة نصف قرن تقريباً .

والنظام الأساسي الأول المتماسك نسبياً هو نظام اشتمل على 539 نجماً، صممه اوويرز Auwers سنة 1879 . وقد وُسّع هذا النظام عدة مرات وحسن . وهو في أساس النظام الاصطلاحي الحالي وفي هذا النظام الأخير تأتي عناصر النجوم ذات الميل القوي نحو الجنوب ، من مرصد مدينة

الكاب وبصورة خاصة من الأعمال التي تمت فيه بعد 1880 على يد دافيد جيل Gill .

الخارطات والكاتالوغات : في سنة 1824 تمنى بيسل علناً وضع خرائط سماوية شبه كاملة من أجل السماح بالبحث ، بصورة سهلة عن أشياء جديدة . ولم يتم اكتشاف أي كوكب صغير منذ (1807) . ولكن الخارطات التي وضعتها اكاديمية برلين ، اعيد تقويمها . وكانت تتضمن جردة بالمنطقة السمتية وفيها حوالي 40 الف نجمة . وقد صحح موضوعها قبل نشرها كما سنرى بمناسبة الكواكب الصغيرة وخاصة نبتون .

وقام ف . ارجيلندر Argelander ، مدير مرصد بون ، بعد ذلك بقليل بوضع مرجع مفهرس اكثر شمولاً وأكثر تنظيماً . وبخلال سبع سنوات ، حقق مع معاونيه شونفلد Schönfeld وكروجر Kruger حوالي 850ألف رصد استوائي تفاضلي. أما كاتولوغات «بونر درش موست رنغ»أو (B . D) التي ظهر آخر عدد منها سنة (1862)، فقد تضمنت مواقع (بمعدل '1 تقريباً) وأبعاد 324 188 نجماً في الشمال من الدرجة (°2 −) . وبدا هذا الجدول كاملاً حتى المقدار (9,5) (وهو مقدار يتوافق بشكل محسوس مع الضخامة البصرية (10,5) بحيث أن الجدول المفهرس لـ B . D قد اعتمد بشكل عالمي .

ووسع الـ B.D فشمل النجوم الجنوبية ، من قبل شونفلد اولاً فيما يتعلق بـ 133 الف نجمة في الشمال من الدرجة °23 − (سُدليش دُرش ماسترنغ ، في سنة 1886) ثم شمل نجوماً أخرى في المرصد الأرجنتيني، في مدينة قرطبة على يد طوم Thome (كوردوبادرش ماستيرنغ) ابتداءً من 188؟ . وبقيت هناك النجوم القطبية الجنوبية التي احتواها كاتالوغ فوتوغرافي وضعه كابتين Kapteyn سنداً للكليشيهات التي وضعها في الكاب الراصد جيل Gill (كاب فوتوغرافيك درش ماستيرنغ) . الدور الذي لعبه الدرش ماستيرنغ ، بشكل خاص من أجل تحديد ماهية النجوم ، له أهمية ضخمة بمقدار التعب المقدم من أجل تنظيمها .

أما الكاتالوغات الأصغر والتي تعطي مواقع دقيقة ، والصادرة (باستثناء الأوائل منها) عن ارصاد هاجرية ،فتتدرّج بشكل غير متقطع ، وهي كثيرة لا تحصى . أن الكاتالوغ الذي يتضمن 7646 نجماً الذي بناه بيازي Piazzi سنداً لأرصاده في (1792 - 1813) هو أول كاتالوغ من نوعه، أما الأرصاد السابقة والتي قام بها برادلي ولا لند فلم تصّغر إلا فيما بعد (يراجع مجلد2 الفصل 3، القسم 3 أن الحركات الخاصة ليست هي الاستثناء ، كما يظن بل هي القاعدة . وتستحق كاتالوغات « استرونوميش جيسل شافت» أو(AG) اشارة خاصة نظراً لموضوعهاوهو تغطية مجمل الكواكب الشمالية ذات الضخامة دون التسع درجات . والمشروع هو من أفكار ارجيلندر Argelander، سنة 1865 ، ووزع بين عدد كبير من المراصد بحيث شمل بعض النجوم الجنوبية ولم ينجز إلا في سنة 1913 . وقد اتاحت هذه الكاتالوغات التي هي ثمرة اعمال طويلة ، لعلم الفلك الأساسي أن يتطور ولعلم الفلك الكواكبي أن يتكون . ولكنها ذات دقة غير كافية للدراسات الحديثة ومن الواجب العودة إليها من جديد اليوم . من ذلك أن نجوم الكاتالوغات AG هي اليوم موضع اعادة رصد إنما على أساس مبادىء مختلفة .

مشروع خارطة السماء : ما ان تم انجاز جدول النجوم من عيار 10 درجات حتى كان قد تم

رصد كواكب اصغر واضعف . وإذاً كان لا بد من توسيع هذا الجدول على الأقل في منطقة فلك البروج .

اشتغل بروسبير Prosper وبول هنري في مرصد باريس من أجل وضع خرائط تشمل البعد الثالث عشر . وكانت مناطق طريق المجرّة هي من الكثافة ، بحيث أن الكشوفات الفردية للنجوم بدت مستحيلة الصنع . وقد بدا العون الفوتوغرافي ضرورياً . كان الأخوة هنري صانعي نظارات في الأصل ، ولكنهم عرفوا كيف يحلون المشاكل المطروحة من أجل تطبيق الفوتوغرافيا على الأسترومتريا وخاصة مشكلة التوجيه . والاستروغراف الذي وضعوه في سنة 1885 هو استوائي مؤلف من منظارين متضامنين : احدهما فوتوغرافي له شبحية من عيار 33 سنتم مصحح بالنسبة إلى الضوء البنفسجي ويعطي كليشيهات تغطي 4 درجات مربعة ، والمنظار الآخر ذو فتحة أصغر وله نفس الطول ويستخدم للرقابة البصرية عند السحب .

إن الإنجازات التي حققها الجهاز حفزت الأميرال موشزMouchez ، مدير مرصد باريس على تنفيذ فكرة أدلى بها د. جيل الذي كان يستكشف في الكاب ، حسنات الفوتوغرافيا من اجل تحقيق مسح « الدرش مسترنغ » durchmusterung للنجوم القطبية الجنوبية واستدعى إلى باريس في سنة 1887 مؤتمراً دولياً من أجل دراسة تنفيذ فوتوغرافي لخارطة عامة للسماء . وارتضى ثمانيةَ عشرَ مرصداً المساهمة . وحملت نوعية الصور ، وانعدام تشقق الحقل على اختيار « استروغراف » الأخوة هنري كنموذج آلات الاستعمال . وكان من الواجب أخذ سلسلتين من الكليشيهات : السلسلة الأولى من أجل خارطات بسيطة مكبرة للكليشيهات تتضمن الدرجة 14 . والسلسلة الأخرى من الكاتالوغات التي يجب أن تقدم المواقع والضخامة الفوتوغرافية للنجوم حتى الدرجة الحادية عشرة .

وكان المشروع ذا اتساع واسع ويستعمل تقنية حديثة جداً يصعب التحكم بها بسرعة . وكان لا بد من مرور نصف قرن من أجل انهائها . ولكنْ نَقَصَتْها الانسجاميةُ خاصة في المجال الفوتومتري . ولكن المستندات بقيت . ومواقع خمسة ملايين نجم موجودة في الكاتالوغات يمكن أن ترد إلى بضعة مئات الألوف من النجوم الضرورية من أجل تخفيض عدد الكليشيهات . ومنذ ذلك الحين شكلتْ الخارطات التي ثبتت حالة السماء في حقبة معينة ، وحتى في عدة حقب ، مصدراً لأرشيفٍ في غاية القيمة بالنسبة إلى العديد من البحوث : سديم خارج عن المجرات ، نجوم متغيرة، الخ .

إن القشرة الأرضية لم تعد قاسية : من أجل تخفيض عدد الأرصاد أخذ في الاعتبار حركات نظام المرجع الاستوائي فوق الكرة السماوية (مبادرة الاعتدالين وتمايل وارتجاف الأرض بفعل جذب الشمس والقمر) ولكن النظام المحلي المستعمل كوسيط والمحدد بالخط العامودي وبالخط الهاجري الكواكبي افتُرض ثابتاً . ومع ذلك بيّن اولر سنة 1765 ، أنه إذا كان دوران الأرض لا يتم بدقة حول محور رئيسي جامد للأرض ، فإن هذا الدوران لا يكون له اتجاه ثابت بالنسبة إلى الأرض : إن القطب الأرضي ، وهو نقطة تلتقي فيها هذه الوجهة بسطح الأرض ، يمثل عندئذٍ حركة تمايل مدتها 305 أيام .

ونظراً لتأثيره على السموات وعلى خطوط العرض يتوجب على التمايل الأولري إذا لم يكن

معدوماً ، أن يظهر عند رصد المواقع . وقد بحث بيسل عن هذا التمايل عبثاً في سنة 1821 في قياسات سَمْتِ « ميرة » «mire» هاجرية . ومن سنة 1842 إلى 1873 لم تعط الأرصاد المركزة حول خطوط العرض والمنظمة خاصة في بولكوفو نتائج مطلوبة .

إلا أن العناصر المحلية لم تكن مستقرة على الإطلاق فقداجرت الجمعية الجيوديزية الدولية ، بناء على اقتراح ف كوستنر Küstner ، ارصاداً متابعة على عرض برلين وبوتسدام وبراغ في سنة 1889 و 890 . واثبتت الأرصاد المتغيرة والمتوافقة ، التي حصلت يومئذٍ حقيقة حركة القطب الأرضي . ولكن هذه الحركة لم تكن تظهر بالمظهر المتوقع : ففي سنة 1891 اكتشف الفلكي الأميركي س . ش . شندلر Chandler فيها حقبتين أولاهما 12 شهراً والثانية 14 شهراً . إن الحقبة السنوية ذات منشأ ميتيرولوجي . والحقبة الثانية أو الحقبة المنسوبة إلى شندلر قد فسرها س . نيوكومب السنة التالية : بدلاً من حقبة اولر المنبثقة عن حساب تعتبر فيه الأرض كجسم جامد لا يتغير شكله ، يجب احلال قيمة بديلة أكبر إذا كانت الأرض مزودة بنوع من المطاطية .

إن ضخامة الحركات لا تتجاوز 0″,5 ، أي 15 متراً على الأرض . وهذا المدى الحركي غير ثابت . إن مسار القطب الأرضي الآني يستعصي على التنبؤ بحيث أنه توجب تأسيس مصلحة دولية لخطوط العرض في سنة 1900 من أجل تحديد هذا الارتفاع الدائم المستمر .

وبذات الحقبة تأكدت مطاطية الأرض من خلال مظاهر أخرى تدخل في علم الجيوديزيا بشكل خاص : وجود المد والجزر في القشرة الأرضية ، الحركات المحلية في العامود . وهكذا بدت المعايير الداخلة في قياسات الموقع متحركة أو غير ثابتة : فبعد المراجع الفلكية أي المرتكزات مثل مبادرة الاعتدالين والأرجحة أو التمايل والتحركات الذاتية للكواكب ، جاء دور المراجع أو المرتكزات المحلية . وكان لا بد من وجود نوعين من الاتفاقات أو اللزوميات : انشاء رقابات تجريبية دائمة من اجل الظاهرات ذات الصفة الاحتمالية ، استحالة استعمال القياسات دون أن يستبعد منها التحليل الاحصائي تموجاتها .

IV - البنية السماوية لعالم الكواكب

مشاكل المسافات : إن تثبيت وتحديد معدل ضخامة المسافة بين الشمس ومطلق كوكب هي مشكلة اثارت اهميتها الفلسفية والعلمية ابحاثاً ناشطة طيلة اكثر من قرن . وكانت الفائدة من هذه الدراسات ، التي ظلت لمدة طويلة غير مجدية من حيث موضوعها ، ضخمة : فاكتشاف تمايل الأرض والزيغان (يراجع مجلد 2 الفصل 2 القسم 2، والوجود الفعلي للأنظمة الكواكبية (راجع فيما بعد) قد انبثق عن هذه الاكتشافات مباشرة، هكذا فإنّ عنصرين في تصورنا للكون، حقيقة حركة الأرض ثم الصفة الكونية لقانون الجاذبية، نتجا عن البحوث حول موضوع لم يكن على علاقة ظاهرياً بها . إن مسار معارفنا يتبع عموماً مثل هذا الطريق . إن المسافة البعدية لنجم ما يتحدد بفضل ما يسمى « بارالاكس » «Parallaxe» أو الزاوية التي منها ترى ـ منذ النجمة ـ الوحدة الفلكية الطولية (وتعادل القيمة الوسطية لشعاع المدار الأرضي أي 150 مليون كلم) . إنّ « البارالاكس » يتبدل عكسياً مع المسافة . وهو يساوي (ثانية واحدة = 1″) لمسافة مقدارها 206 آلاف وحدة فلكية أي

3×10^{13} كلم . وهي مسافة يقطعها الضوء بخلال 3 سنوات وربع .

إن الحركة السنوية للأرض تثير مفعولاً منظورياً يُدخل في الاسقاطات الاستوائية لنجمة ما اختلافاتٍ سنوية تتناسب مع « البارالاكس » . ويتعلق الأمر بالنسبة إلى الكواكب الأكثر قرباً ، بتنقلات هي جزء من الثانية من الدرجة أي من مرتبة دقة القياسات .

ونتصور أن مفاعيل « البارالاكس » قد اكتشفت ثم تبين أنها وهمية .

أنه في سنة 1832 فقط حصلت تقديرات ذات قيمة « للبارالاكس » ، وبصورة مستقلة من قبل بيسل في كونيسبرغ ومن قبل ف . و . ستروف في دورپات . واستخدما نفس المبدأ كأساس : دراسة موقع كوكب ذيَ حركة قوية خاصة (وإذاً مفترض القرب) نسبةً إلى كواكب قريبة جداً منه ، وقد أجرى ستروف هذه القياسات النسبية بواسطة « ميكرومتر » ذي خيوط كما درس ڤيغا Vega . فوجد بالنسبة إلى « بارالاكـه » اعداداً متنوعة تتراوح بين (0",12) و (0",26) (القيمة الحديثة تساوي (0" 12 .

استعمل بيسل « هليومتراً » مبنياً بصورة خاصة من قبل فرونهوفر Fraunhaufer ودرس النجم 61 سيغني Cygni . وكانت تقديراته متجانسة في ما بينها في حدود بعض الجزئيات المئوية من الثانية ، كما كانت متوافقة أيضاً مع التقدير الحديث (0",30) . وكانت هذه النتائج ، وخاصة نتائج بيسل لا تدع مجالاً للشك حول المفعول الحقيقي المدروس .

وبعد ذلك بقليل حدد هندرسن Henderson وماك ليرMacLear في الكاب ، بواسطة الأرصاد الهاجرية ، « بارالاكس »« الفاستوري » (سانتوري) واستنتجا في سنة 1840 أنها تساوي (0",98) . وهكذا تم تقدير المسافة ، مسافة نجمة بدت فيها بعد كاحدى النجوم الأقرب الينا . ويتوافق مع القيمة الحديثة (O",76) للبارالاكس مسافة تساوي 270 ألف مرة شعاع المدار الأرضي أي اكثر بقليل من 4 سنوات ضوئية . وفيما بعد تمّ بناء كاتالوغات للبارالاكسات ، وهي عملية شاقة بشكل خاص إذا اجريت عن هذا الطريق « التريغونومتري » ، إذ يتوجب اجراء دراسة مستمرة لكل نجمة طيلة سنتين على الأقل . وتعتبر اعمال ش . آ . ف . بيترس C.A.F.Peters في بولكوفو ، حوالي 1845 ، وأعمال جيل Gill والكين Elkin في الكاب بعد ذلك باربعين سنة ، من بين الأعمال الأهمّ وبحوالي 1900 توفرت « بارالاكسات» مؤكدة لحوالي 50 نجماً .

حركة الشمس : لقد تقرر ان مطلق نجمة تتحرك ضمن الكرة السماوية وأمكن التثبت من أن الاحداثيات إذا قيست على مرحلتين تظهر فيها بينها فروقات أكبر من الأخطاء الحقيقية التي تصيب التحديدات . ولما كانت هذه الأخطاء صعبة التقدير فمن الصعب أيضاً تحديد تاريخ الاكتشاف الحقيقي للحركات الخاصة للنجوم . أما الحركات التي تثبت منها جاك كاسيني Cassini سنة 1738 ، بفضل مقارنة المواقع الحديثة والمواقع التي حصل عليها ريشر سنة 1672 ، هذه الحركات بدت الأولى التي لا شك في وجودها .

وأتاحت دقة القياسات التثبت وبصورة سريعة من التغير التدريجي ، البالغ بضع ثوانٍ في

السنة ، بالنسبة إلى احداثيات عدد من النجوم . وفي سنة 1761 ، طرح لامبير مسألة التمييز بين الحركة الحقيقية لكل نجمة والمفعول الظاهر العائد إلى تغير محتمل في موقع الشمس ، وهو مفعول فكر به برادلي منذ 1738 . وحل هرشل المسألة سنة 1783 . ولاحظ هرشل وهو يدرس النجوم الست والثلاثين المذكورة في الكاتالوغ الأساسي الذي وضعه ماسكيلين Maskelyne ، لاحظ أن الحركات الظاهرية كلها تحدث بفعل التغير المحتمل لمكان النظام الشمسي ، (أي الحركات البارالاكسية الخالصة ، وعندها تتلاقى السطوح النصفية التي تتضمن اتجاه نجمة ما واتجاه حركتها الظاهرية عند نصف خط متوجه عكس الحركة الحقيقية للشمس ، وهو نصف مستقيم يلعب دور خط المسرب ضمن مفعول نظوري . ومن أصل الست والثلاثين نجمة ـ ومن بينها ثلاث عشر من أكثرها بريقاً تظهر الخاصية المعلن عنها ـ يتوقع فيها حصول حركة من الشمس نحو برج هرقل (أو كوكبة الجاثي أو الراقص) . ولما كان التلاقي غير دقيق من جراء وجود حركات فردية بين النجوم ، فقد بحث هرشل ، عن طريق التقريب المتتالي عن الاتجاه المؤدي إلى حد أدنى في مجموع الانحرافات . وتوصل بالتالي إلى الاسقاطيات التالية للأوج apex : $\alpha = 246°, \delta = +50$.

وفي سنة 1818 شكك بيسل بالنتيجة السابقة بعد أن درس الحركات الخاصة في كاتالوغه الأساسي . وكان الهامه افضل عادة ، ولكنه لم يلحظ الدور الضار الذي يلعبه الانتقاء بفضل الحركات القوية الذاتية عندما يكون هذا الانتقاء واقعاً على النجوم الضعيفة : إن الحركات الفردية الذاتية القوية تكون عديدة ، وتتغلب على الحركات « البارالاكسية » التي تكون ، بالعكس من الأولى ضعيفة في مجملها .

وأعاد ارجيلندر Argelander الأشياء الى نصابها بعد 20 سنة . وبدون أن يبحث عن تلاقٍ مستحيل ضمن معدات (مواد عمل) تتضمن نجوماً ضعيفة ، قدم طريقة الحساب التي تتيح العثور على الاتجاه الأكثر احتمالاً الذي يتبعه الأوج Apex وذلك عند افتراض توزع الحركات الفردية توزعاً عشوائياً . وانطلاقاً من 540 نجمة مستعملة ، كان هو بنفسه قد أعاد رصدها في آبو حوالي سنة 1830 ، استنتج ارجيلندر للأوج Apex : ($\alpha = 260.° \delta = +32$) . وقسمت مادة العمل إلى ثلاث طبقات ، بحسب الحركة الذاتية . والنتائج الثلاث المستقلة لم تختلف في ما بينها إلا ببضع درجات . وتقرر وجود « الآباكس » بشكل لا يقبل الجدل .

وبرزت من بين التحديدات التي تتالت التحديدات التالية : تحديد و. ستروف O.Struve (1842) الذي حدد بذات الوقت قيمة ثابت مبادهة الاعتدالين . وهناك تحديد آري Airy (1860) الذي يعتبر الأكثر استعمالاً اليوم والذي يوازي في الواقع تحديد ارجيلندر . واليوم من المعلوم أن اتجاه « ألأوج» يتغير بحسب طبقة النجوم المدروسة . اما الاحداثيات التي اعتمدت في الآبكس الكلاسيكي ($(\alpha = 270)$ $(\delta = +30°)$ ، قلما تختلف عن احداثيات ارجيلندر وحتى عن احداثيات هرشل .

وضخامة حركة الشمس لا يمكن الحصول عليها بواسطة هذه الطرق إلا إذا كانت مسافات النجوم المستعملة معروفة . لقد ظلت « البارالاكسات » لمدة طويلة نادرة جداً وتافهة جداً حتى امكن

التصرف على هذا الشكل . وبالمقابل تم الحصول مباشرة على هذه الضخامة ، بذات الوقت مع « الآبكس » ، انطلاقاً من قيم سرعات نجومية شعاعية . وكان لا بد من العثور على كاتالوغ جيد للسرعات الشعاعية الطيفية . وأتاح كاتالوغ فوجل Vogel ،ذي الواحدة والخمسين نجمة لكمف Kempf أن يقدر في سنة 1892 سرعة الشمس بما يعادل (18.5كلم/ث) . إن القيمة المقررة حالياً هي 19.5 كلم/ث .

الأنظمة النجومية : أتاح رصد السماء بشكل خاص ، منذ اختراع المناظير ، اكتشاف مجموعة متنوعة من نجمتين أو اكثر متجاورة في اتجاهها . وكان من المخاطرة تصور تقارب حقيقي بين النجوم من مجموعة واحدة ، خاصة وأنها في أغلب الأحيان ذات لمعان مختلف ، وأنهم كانوا يؤمنون يومئذٍ بوجود ترابط قوي بين المسافة واللمعان .

وأدى فشل المحاولات من أجل اثبات حقيقة « البارالاكس » النجومي (راجع المجلّد الثاني) إلى حمل و. هرشل على وضع برنامجه للقياسات التفاضلية ، التي هي أكثر دقة من القياسات المستقلة : إذا كانت احدى المكونات في نجمة مزدوجة ، شيئاً بعيداً جداً والمكون الآخر شيئاً قريباً، فإن موقعهما النسبي يقترن بمفعول منظوري يختلف اثناء الحركة السنوية للأرض (مفعول بارالاكس) . وفي سنة 1803 نشر و. هرشل النتائج الأولى لتحليل قياساته الميكرومترية . ولم يكن مفعول البارالاكس قد تحدد بعد ، ولكن ظهر مفعول آخر فبالنسبة إلى كلٍ من المجموعات الخمس ، يتبع الموقع ، موقع كل عنصر من العناصر ، قوساً ذا انحناء مختلف تماماً عن الخط المستقيم ، أما التقعر فيتجه نحو العنصر الآخر .

وبيَّن هرشل أن حركة الشمس لا يمكنها أن تفسر الظاهرة الملحوظة ، فاستنتج وجوداً فعلياً لحركة نسبية غير متسقة مصدرها عمل متبادل . وهكذا عثر على وجود الأنظمة المزدوجة أو الثنائية .

وفيما بعد ، وحتى في حال عدم وجود عناصر دقيقة تتعلق بالحركات النسبية كان لا بد من التوصل إلى المقاربة الحقيقية لشبه مجموعة النجوم المزدوجة بصرياً : إن احتمالية ظهور نجمتين مستقلتين بمظهر التقارب قد استنتجت من تعدادات النجوم . ولوحظ أن هذه الاحتمالية بدت تافهة إذا قورنت بالتواتر الفعلي للمزدوجات المحصية .

إن معرفة قوس المدار الظاهري تتيح تعريف عناصر المدار الحقيقي على أساس الفرضية القائلة بأن هذا المدار هو مدار كبلري أي أن العمل المتبادل محكوم بقانون نيوتن . وتجد الفرضية مبررها إذا كان المدار الحقيقي المحسوب يمثل تماماً الحركة المرصودة (مواقع وزمن) ، من أجل القياسات التي سبق واستعملت وأيضاً من أجل القياسات التي سوف تتم فيما بعد. تلك هي الطريق التي ادت إلى تثبيت السمة الكونية لقانون نيوتن .

ومن الملحوظ أن أول فكرة تحصلت حول العالم الكواكبي قد ظهرت بشكل نتيجة ذات شمول . ففي سنة 1827 ، فعلاً ، وقبل 10 سنوات من امكانية تقدير المسافة التي تفصلنا عن نجمة ما ، حين قام سافاري ـ بعد أن حل المسألة الدقيقة الهندسية المتعلقة بحساب العناصر المدارية الحقيقية انطلاقاً من عناصر المدار الظاهري ـ وطبق حله على (ξ Ursae Majoris) ؛ وبفضل الحقبة القصيرة نسبياً

(60 سنة) في هذه المزدوجة والانحراف الظاهر في المدار الحقيقي بدت صحة قانون السطوح محكومة بدقة ، مثبتةً السمة الكبلرية للحركة .

إن الجرم الشامل لنظام ثنائي يستنتج بسهولة من معرفة الحقبة (T) ومن نصف المحور الكبير (a) من المدار الحقيقي ، عندما يكون البارالاكس قد قيس وأن القيمة المترية لـ (a) معروفة . أن القانون الثالث عند كبلر (المجلّد الثاني) ، وبالشكل الذي اعطاه إياه نيوتن يدل على أن الكتلة الكلية تتناسب مع الحاصل a^3/T^2 هذا الطريق هو الوحيد الذي أتاح معرفة اجرام الكواكب . وأدت هذه الطريق في أيامنا ، وبواسطة العلاقة بين الجرم والبريق ، إلى معلومات أساسية حول البنية الداخلية للكواكب . وتعلقت الأجرام الأولى التي أمكن احتسابها بالنجوم القريبة . وتراوحت هذه الأجرام بين (0,5 و6) ، باعتبار أن حجم الشمس هو الوحدة . وفيها يتعلق بجرم الشمس ، وكذلك من خلال طيفها ، بدت وكأنها كوكب مشترك .

إن تحديد المدار هو بالتالي مسألة مهمة . وبعد سافاري ، الذي عالج حالة خاصة ، حل جون هرشل المسألة في سنة 1831 بالنسبة إلى الحالة العامة . وبالنسبة إلى مئة مدار، تراوحت الحقب بين عشروبضع مئات من السنين، وكانت هذه المئة معروفة في سنة 1900. وعن طريق الرصد تكشفت انظمة ثنائية متعددة وتبينت: وقام ج .هرشل و. ف. و.ثم و.ستروف، ومادلرMädler ودومبروسكيDombrowsky وبرنهام Burnham وسي See ، وغيرهم ، بتأمين دراسة حوالي خمسة عشر الف مزدوج . وليست الكواكب المزدوجة بصرياً العناصر الوحيدة لمعلوماتنا . فقد اكتشف ش. بيكيرنغ C.Pickering في هارفارد ، سنة 1890 ، النجوم المزدوجة طيفياً . فقد لاحظ ازدواجاً دورياً في خطوط الطيوف النجومية ، فعرف كيف يستخرج منها مفعول حركة مدارية تتعلق بالسرعات المركزية لعناصر مزدوج غير قابل للازدواج بصرياً .

إن الانتباه قد تسلط منذ زمن بعيد على بعض النجوم المتغيرة التي ينخفض لمعانها بصورة دورية وبشكل مهم وخلال فترة قصيرة من الزمن . وفرضية وجود رفيق غامض يستر النجمة عند كل دورة ، وضعت بشكل معادلة ، بمناسبة « الغول » Algol ، في سنة 1880 من قبل بيكيرنغ . فقد استطاع هذا الأخير أن يحدد المدار المتوقع . وفي سنة 1889 رصد فوجل Vogel تنقلات دورية في الخطوط الطيفية عند « الغول » وهي تنقلات ثبتت فرضية بيكيرنغ . وقد بين هذان الفلكيان معاً ، بعد ذلك بقليل ان المتغيرات من نمط (β Lyrae) (التي يمر لمعانها بسمتين) هي من طبيعة متشابهة . فالمرافق هو هنا ضوئي . وهنا توجد فئتا المتغيرات ذات الكسوف أو النجوم المزدوجة الفوتومتريا .

البنية الفضائية للسديم (طريق المجرة = درب التبانة): إن بنية الكون الكواكبي لا يمكن أن تستخرج إلا من استقصاءات احصائية ؛ والأشياء المدروسة هي عينات يتوجب معرفة مميزاتها وكذلك معرفة المجموعات التي هي تمثيل لها وقد رأينا كيف أن الأعمال الحاصلة في القرن التاسع عشر قد اتاحت الحصول على معلومات دقيقة حول المواقع الفضائية وحول التنقلات المتعلقة بعدد كبير من النجوم . ولكن المسائل المتعلقة بتوزيع النجوم لم تتوضح بمثل هذا النجاح ، نتيجة انعدام المعرفة الكافية بدور العناصر الفيزيائية .

واهتم و. هرشل أولاً بالدراسة المنهجية لتوزيع الكـواكـب . وعمل عن طـريق الريـازة ، فعدد النجوم المرئية في الحقل من 15' المقرر بفضل منظار ذي تكبير ضعيف مدوزن ليتلاءم مع تيلسكوبه من ضخامة 20 قدماً . وتشكل هذه الحقول الأولية « معـايير » يتـوجب منها حـوالي مليون لتغـطية الكـرة السماوية . واكتفى هرشل باختيار بعض الألوف منها ، موزعة بشكل ملائم في منطقة عـامودية على السطح المجري . وعقب 1785 كان بامكانه استخراج الجوهري من النتائـج التي ظلت صالحـة : إن النجوم موزعة بشكل محسوس ضمن طبقة ذات سماكة ضعيفة نسبياً وذات قطر كبير . وتقع الشمس ضمن السطح الأوسط من هذه الطبقة وتحتل موقعاً خارج المركز . إن مجمل النجوم يشكـل نظاماً وحيداً يسمى طريق المجرة أو درب « التبّانة» أما السلسلة البيضاء التي تحمل نفس الأسم والتي تتبع تقريباً دائرة كبيرة ضمن الكرة السماوية ، فليست إلا الترجمة البصرية بالنسبـة إلى مراقب من داخـل النظام ، وذلك بفعل تكدس النجوم ضمن الطبقة . ومن اجل اعادة التوزيع الفضائي انطلاقاً من التعداد فلا بد من معيار بعدي . إن ضخامة النجمة، وفيها بعد قيمةحركتها الخاصة ، قد استخدمتا من اجل هذه الغاية . وقامت أعمال عديدة على اساس هذه المواضيع . ولما كانت النجوم تشكـل مجموعة متنافرة عندما لا تجمع وفقاً لخصائصها الفيزيائية ، فإن النتائج الحاصلة لا يمكن ان تكون إلا وهمية . إذ لا سبيل إلى استرجاعهـا . ولكن تطور الأفكـار ، التي سادت في السـاحة القـائمة ضمن الكون بفضل العالم المجري ، قدم بعض المنفعة التاريخية .

في القرن الثامن عشر تصور البعض ، امثال كـانت ولامبير الكـون بشكل مجمـوع لا متناهٍ من الأنظمة ، إما متراكبة وإما يحتوي بعضها البعض . وتشكـل النجوم المرئية نـظاماً بـالذات . أمـا الأنظمة الأخرى ، أو الأكوان الجزر ، فيجب البحث عنها بين الأشياء المنتشرة التي كانت مصنفـة في ذلك العصر على أنها سُدُم . وهذا التصور يخضع لمباحث فلسفية اكيدة .

إن الوسائل الكبرى ، مثل وسائل هرشل اتاحت تفكيك عدد من السدم إلى نجوم . وكـانوا يومئذٍ يميزون السدم إلى كتل نجومية وإلى سدم لا يمكن ردهـا إلى نجوم . وكـان من الواجب ايضاً افتراض أن هذه السدم غير المفككة هي أيضاً ذات طبيعة نجومية ، بعكس رأي هرشل الذي افترضها غازية . ولكن الطبيعة الغازية لبعض النجوم قد تقررت انطلاقاً من سنة 1864 عندما عرف هوغينز أنها تشكل ظلالاً ذات بث .

إن وجود العوالم الجزر اصبح بعد ذلك مشكلة ، وفي أواخر القرن التـاسع عشر اعْتُبِـرَ بحكم المؤكد أن الكون يختلط ويتماهى مع العالم المجرِّي . ولم يكن الحقل ، رغم ذلك اقلَّ انفتاحاً على كل الأفكـار وبصـورة خـاصـة انـطلقت وانتشرت فكـرة أن طـريق المجـرة « لهـا بنيـة حلزونيـة» (س. الكسنـدر ، سنة 1852 ، ثم ر. بـروكتور Proctor سنـة 1869) قليلاً بعـد أن سبق للورد روس Rosse أن تعرف على هذه البنية لدى بعض السدم (1845) ، وقبل أن حُللت هذه إلى نجوم (1924) .

وبفعل آثارهـا المتبادلـة الجذبيـة ، تخلق النجوم حقـل جذب يتحكم بحـركاتهـا . وكان من الطبيعي الاستخلاص أن هذا الحقل ـ بمعزل عن الآثار المحلية ـ قريب نوعاً ما من الحقل الذي تحدثه كتلة وهمية ، تلعب بالنسبة إلى النجوم الدور الذي تلعبه الشمس بالنسبة إلى السيارات التابعة . هذا

المركز الديناميكي ، الذي لا يعدو أن يكون ما نسميه اليوم المركز المجري ـ بدأ البحث عنه انطلاقاً من سنة 1846 من قبل مادلر Mädler ، خليفة ف . و . ستروف لرئاسة مرصد دوربات . وبالرغم من أنتباه بعض علماء الفلك إلى أن المعطيات الحركية المتوفرة بخلال القرن لم تكن تتناسب ابداً مع ما هو ضروري لمعالجة هذه المشكلة ، بقيت فكرة الشمس المركزية سائدة لمدة طويلة ، ربما بسبب هذا الاسم الخيالي . وكان مادلر Mädler بموضع هذا المركز ضمن الثريات ، مقابل اتجاهها الحقيقي تماماً . والواقع ، وحول السمات العامة للبنية الفضائية ، بالنسبة إلى طريق المجرة ، يمكن القول بعدم تحقيق أية خطوة تقدم بين 1785 و 1897 ، وهو التاريخ الذي كشف فيه هـ . كوبولد Kobold ، عن طريق الاحصاء ، وجود مفعول منتظم ومنهجي في الحركات الخاصة المطلقة . وأدى تأويل هذا المفعول ، وبسرعة ، إلى اعمال كابتين Kaptyen ، وأعمال ك . شوورزشيلد Schwarzschild حول توزع السرعات .

V - المعلومات الأولى حول الفيزياء النجومية

إن المعلومات المتوفرة والمتلقاة عن نجمة ما تنقل الينا بفعل اشعاعها . ومساهمة القياسات في الفيزياء النجومية تترجم فقط بدراسة زخم الاشعاع سواء كان ضوئياً أم لا ، تبعاً لمختلف اطوال الموجة . وإذا كانت الدراسة النوعية للاشعاع الضوئي الكامل ، أو اللمعان الظاهر ، قديمة المنشأ ، فإن دراسته الكمية هي مرتبطة بتقدم الفوتومتريا أو استعمال القياسات في التصوير . أما تحليل الاشعاع فسوف يقتصر في البداية على القسم المنظور من الطيف النجمي ، ولن يتجاوز ، طيلة القرن مرحلة الدراسة الوصفية .

1 - اللمعان الظاهر

الأبعاد أو الضخامة : قسم الأقدمون بصورة واقعية النجوم إلى ست مراتب بحسب ضخامتها . وبعد اختراع المناظير ، لم يعد يوجد حد أدنى للّمعان المنظور ، بشكل مطلق . وكان لا بد من الاصطلاح على طريقة تسمح بتوسيع التقسيم بصورة تدريجية : وتقوم الطريقة التي سادت بشكل طبيعي على اعطاء الرقم 7 للكوكب ، إذا نظر إليه من خلال المنظار ، بذات الوقت مع نجمة ذات كبر 6 ، يشكل معها مزدوجاً يوحي باحساسات ضوئية تشبه الاحساسات التي تراها العين المجردة لنجمتين من عيار 6 و 5 (أو 5 و 4) . أما الأبعاد التالية فقد تحددت بنفس الطريقة وبشكل تقريبي .

ولم تكن الطريقة تمكن من الوصول إلى نتائج مترابطة لأن الأساس بالذات ، المتكون من ضخامات نجوم مرئية بالعين المجردة ، لم يكن الا من أكثر الأسس تخلخلاً ، وهذا ما تثبت منه و . هرشل عندما قام بدرس هذا الأساس قبل ان يشرع في الفحص الوصفي العام للسماء . ومن الناحية العملية قام الفلكيون ، الذين شرعوا في اعادة النظر بتصنيف الأبعاد عن طريق الملاحظة المباشرة (أي بدون فوتومتر) بتطبيق المبادىء التي وضعها هرشل سنة 1796 : اجراء مقارنات عديدة لسلاسل من الكواكب مصنفة بحسب اشعاعها المتنازل . واختلفت النتائج بحكم اختلاف سلم التصنيف وبحكم الدقة الداخلية .

إن القياسات التي اجراها جون هرشيل في الكاب بين (1834 و 1838) تميزت بدقتها . وكان الخطأ

الوسطي (الداخلي) في التقديرات يتجاوز بقليل $\frac{1}{20}$ من الضخامة ، أي أنه كان أعلى بقليل من خطأ القياسات التي أمكن اجراؤها بواسطة فوتومتر جيد . وتناولت القياسات الأولى التي قام بها ارجيلندر ، والتي نشرت في « اورانومتريانوڤا » ، سنة (1843) كل الكواكب المرئية بالعين المجردة عند خط عرض بون . واهمية هذا الكاتالوغ جعلته يؤخذ كأساس للسلم الفوتومتري ، في حين كانت السلالم المختلفة متقاربة نوعاً ما لأنها كلها صادرة ، في نهاية المطاف من سلم بطليموس . وتضمنت كاتالوغات ارجيلندر واتباعه الأبعاد المرئية (الحاصلة بفعل الرصد المباشر) في الكواكب الأكثر بريقاً من الكواكب ذات الضخامة بدرجة العشر ، اي أكثر من مليون نجم .

السلالم الفوتومترية : إن الفوتومترات ، التي وصفت اعلاه قد أتاحت في باديء الأمر دراسة السلم التجريبي . وبعد (1836) لاحظ س. آ. ستنهيل . بأن الضخامات تتغير على نسق لوغاريثم اللمعية . وتُعزى هذه القاعدة ، بشكل عام إلى الفيلسوف فكنر Fechner ، الذي وضع صيغة اكثر عمومية إنما في سنة (1859) فقط ، مؤكداً بأن الاحساسات تتغير تبعاً للوغاريثم المحفزات . وكان لا بد من اضافة أن تلقي لمعان الكواكب يشكل التحفيز الوحيد عملياً الذي يتيح التثبت من القاعدة المسماة قانون فكنر . ثم إن هذا التثبت لم يكن إلا تقريبياً .

إن المُعامل الذي يجب اعطاؤه للوغاريثم اللمعية قد تحدد في سنة (1879) بـ (2,5) وهو عدد قدمه بوغسون Pogson في سنة (1856) ، واقترن اسمه بهذه الصيغة . وحصل ستنهيل على المعامل (2,2) . أما اصل السلم ، فسوف لن يتحدد إلا بعد ذلك بكثير ، بواسطة احصائية .

المقادير الضوئية (ماغنيتود) : بعد وضع السلم الفوتومتري ، اتاحت الفوتومترات اعطاء الأبعاد قيمة محددة تماماً اطلق عليها بعد ذلك اسم الضخامة (ماغنيتود) .

وبعد الأخذ في الحسبان اخطاء التقدير التقريبية ، كانت الضخامة الواقعة بين (3 و 6) تتطابق بشكل محسوس مع « الماغنيتود » . ولكن الكواكب البراقة التي كانت قديماً ذات ضخامة من الدرجة الأولى تطابقت ، عموماً مع « ماغنيتود » أقل من (1) وأحياناً مع « ماغنيتود » عدمية أو سلبية ، مثل « ماغنيتود سيريوس » Sirius التي تساوي (1.6 -) . إن الكاتالوغات ذات الماغنيتود البصري قد انبثقت بصورة رئيسية من الأعمال التي حصلت في مراصد هارڤارد وبوتسدام .

وتضمن كتاب « Revised Harvard photometry » وملحقه ، اللذان صدرا سنة (1908) ، نتائج مليون من القياسات تقريباً . واهتم الكتابان بمجمل النجوم البراقة وببعض آلاف النجوم الضعيفة ان هذه التقديرات قد حصلت ابتداءً من 1879 بواسطة الفوتوميترات الهاجرية من قبل بيكيرنغ Pickering وتحت اشرافه ، واسندت هذه التقديرات ، من حيث المبدأ إلى كواكب هاجرية معيارية . ولكنها (أي التقديرات) قورنت في الواقع بالنجم القطبي ، الذي عرف عنه فيما بعد أنه ذو تغير في لمعانه من عيار عشر « الماغنيتود » . وهذه الواقعة قلما عدلت في دقة النتائج . هذه الدقة التي لم تصل إلى دقة « بوتسدام دورك ماسترن » (أو .P.D)، هذا الكاتالوغ الأخير تضمن القياسات الحاصلة بين سنة 1886 وسنة 1905 من قبل ج. موللر Müller وب. كمف Kempf ، بواسطة فوتومتر زولنر zöllner

واهتم هذا الكاتالوغ بكل الكواكب في الشمال حتى الماغنيتود (7,5) . إن نوعية (P.D) تتعلق جزئياً ببحوث مهمة حول الامتصاص الفضائي الأقليمي هذه البحوث التي اجراها موللر حوالي (1880) . ويتعلق الأمر هنا بأثر معقد، دُرِس منذ (1729) من قبل بوغر وهو ما يزال حتى الآن مجهولاً ، ويطال كل التحديدات الفوتومترية التي ليست تفاضلية بصورة ضيقة .

الكواكب المتغيرة : في سنة (1638) أُشير لأول مرة إلى النجمة (ميراسيتي) Mira Ceti ذات التغييرات في لمعانها بشكل محسوس ودوري . وقد تم التعرف على حوالي خمس عشرة منها في سنة (1843) وهي الحقبة التي قام فيها (ارجيلندر) بالإفادة من تجربته الفوتومترية فوضع مبادىء البحث والدراسة حول الكواكب المتغيرة. وفي أواخر القرن التاسع عشر تحددت منحنيات الضوء لعدة مئات من النجوم عن طريق الفوتومتريا البصرية المباشرة بوجه عام . وقد امكن تمييز الفئات المختلفة من المتغيرات (نوفّا أي الجديدة وغير المنتظمة ، ذات الحقبة الطويلة) (عدة اشهر) وذات حقبة قصيرة (بضعة أيام) . وفي سنة (1895) اكتشف بايلي فوتوغرافيا متغيرات الكتل ذات الحقبة القصيرة جداً (بضع ساعات) .

وأدى وجود كواكب مزدوجة (متغيرة ذات كسوف ، وثنائية ظلالية وطيفية) بين المتغيرات ذات الحقبة القصيرة ، إلى اعتبار ـ خطأً ـ كلِّ الكواكب من هذه الطبقة وكأنها ثنائية . إن الرصد الطيفي للنجوم الملتهبة Céphéides أدّى إلى هذا الوهم لأن نبضاتها ترجمت بتغير في السرعة الشعاعية النصف قطرية التي تشبه التغير الحاصل بفعل حركة مدارية فعلية . وكانت نظرية الفضاءات الكوكبية ضرورية لفهم منشأ تغير اللمعان . ولم يكن بالامكان يومئذٍ تقديم أي تفسير مرضٍ لهذه التغيرات . ولم يكن بالامكان الوقوف الا عند الدراسات الوصفية باعتبارها مساهمة ايجابية .

2 - برقية رقمية : الطيف

منذ البداية ، بداية «السبكتروسكوبيا » أي تسجيل الطيف ، لاحظ « فرونهوفر » Fraun hofer أن الطيوف الكوكبية تختلف بعضها عن بعض وتبدو وكأنها تميز كل شيء . ولكنه لم يكن يظن بوجود هذا الغنى المدهش للمعلومات الموجودة داخل الطيف . ومرَّ قرن من الزمن قبل أن تستغل هذه المعلومات بشكل كامل .

وبعد (1859) تمت صياغة قانون كيرشوف Kirchhoff ، وتم وضع برنامج البحوث : دراسة الخيوط المنبثقة من عناصر بسيطة ثم محاولة تحديد ماهيتها ضمن الأطياف الفلكية . وسرعان ما تبين ، بالدراسة المفصلة للأطياف الكواكبية الجيدة ، إن عدد العناصر البسيطة المعروفة يتزايد كلما تقدم علم الأطياف . وبعد (1863) اكتشف هوغينز وميللر دزينة من العناصر ضمن اطياف بيتلغوز Bételgeuse وآلد يباران Aldebaran . وتبين أن التصنيف لا يمكن أن يرتكز ويتأسس إلاّ بشكل عشوائي سنداً لسماتٍ عامة يجب تثبيتها . واستنتج سيكّي Secchi ، بعد سنوات من الرصد ، في سنة (1867) توزيعاً للأطياف وفقاً لثلاثة نماذج بحسب وجود أو زخم بعض المجموعات من الخيوط الضوئية . وهذه الأنماط كانت تلتزم باللون الظاهر للنجم ، نجوم « زرقاء » مثل سيريوس Sirius ونجوم « صفراء » مثل الشمس ، ونجوم حمراء مثل بيتلغوز Betelgeuse . وهذا النمط الأخير الذي

يتضمن ايضاً غالبية المتغيرات ، قسم فيما بعد ، بعد وضع النجوم « الحمراء جداً » أو الهيدروكربونية جانباً .

إن تصنيف سيكّي ، الموضوع بدون اساس نظري مسبق ، كان بسبب هذا بالذات ، صلباً . ولم يفعل فلكيو هارفارد ، من أجل توضيح هذا التصنيف ، في كاتالوغهم الأول الفوتوغرافي ، الا تفريعه : إن درابر كاتالوغ استعمل هنا طبقات مزودة بحرف من A حتى N ، وهذه الطبقات تتبع الأنماط الأربعة التي قال بها سيكّي ، أماالجداول فقد تم وضعها ضمن الكاتالوغات المتتالية حتى توصلت في سنة 1901 إلى حالة قريبة من الكاتالوغ الموجود اليوم . ويرتكز تصنيف سيكّي بصورة رئيسية على الزخم النسبي لمختلف اشعة الهدروجين . وهذه الأعمال التصنيفية ، التي تمت تحت اشراف بيكيرنغ Pickering وعلى يد مسز فليمنغ Fleming ، ومس موري Maury ومس كانون Cannon ، هي التي اعطت كاتالوغ هنري درابر قيمته . ويقدم هذا الكاتالوغ الذي تم نشره في سنة 1924 ، الضخامة الفوتوغرافية ، والمرتبة الطيفية لـ 225 الف نجمة أي ضخامة كل النجوم الأكثر بريقاً من النجوم من عيار 6 ، وكذلك أيضاً ضخامة ومرتبة عدد كبير من النجوم الضعيفة .

وتمت محاولة تفسير الأطياف بكل تأكيد . وكان من الأسهل ربط النمط الطيفي بدرجة الحرارة (ربطاً نوعياً) بالمقارنة مع الظاهرات المرصودة في المختبر . والفكرة البديهية القائلة بأن درجة الحرارة تترجم حالة تطور النجم وتتيح تحديد عمر الكواكب سنداً لنمطها ، قال بها زولنز منذ 1865 . وعاد إليها فوجل Vogel سنة 1874 وجعل منها اساس تصنيف طوره بعده لوكير Lockyer الذي اضاف ، إلى درجة الحرارة ، الثقل النوعي كعنصر اساسي في التطور . ولم تقدم هذه الفكرة في النهاية أي شيء ايجابي ، باستثناء انها حفزت البحوث وأنها أدت بشكل خاص إلى بحوث هـ . ن . روسل Russell .

وبالعكس إن النتائج ، وقد اقتصرت على التأويل المباشر لمعطيات الرصد ، بقيت صالحة ، ولم يمكن عرضها إلا ضمن اطار التركيبات التي اتاحت النظريات الحديثة وضعها. ولهذا سوف نستعرض أوائل هذه النتائج فقط هنا . الكثير من الأشياء المنتشرة ، المصنفة كسدم كواكبية ، امكن حلها وتبدت بشكل كتل من النجوم . وكان بالامكان الافتراض أن كل السدم هي كتل ،ولكن هوغينز Huggins لاحظ في سنة 1864 أن طيف احداها كان عارياً من الخيوط الامتصاصية ، واستنتج ، بحق ، الطبيعة الغازية للشيء كما لاحظ في سنة 1866 في طيف « نوفا » الخيوط اللامعة الهدروجينية ، وهي ظاهرة تترجم صدور غازات ذات درجة حرارة مرتفعة. وهكذا تم لأول مرة اقران تغير اللمعة بمظهر آخر فيزيائي . وأخيراً رأينا اعلاه أن نفس الفلكي ، طبق بعد سنتين علم السبكتروسكوبي على قياس السرعات الشعاعية .

VI - الحركات والجاذبية

إن الكشف التقليدي عن النظام الشمسي بقي مثمراً . لقد زودت النجوم السيارة بتوابع جديدة . وكانت الشهب ، التي ما انفك الجمهور يهتم بها ، موضوع العديد من الدراسات، ومنها الدراسات المتعلقة بتحديد مداراتها ، التي بقيت صالحة : ومنها طريقة اولبرس Olbers التي نشرت سنة 1797 ، ومنها أعمال غوس التي سوف نعالجها فيما بعد عند البحث في النجميات « الاسترويد »

في كتاب ت. اوبولزر Oppolzer (1882) . ان الأحجية التي تطرحها الكواكب المذنبة ، أو الأمطار الميتيورية (النيزكية) قد حلت بصورة جزئية : فقد بين اولمستيد Olmstedوتواينغ Twining ونيوهافن سنة 1834أنّ هنالك فرقاً من الجسيمات ترسم مداراً حول الشمس يقطع مدار الأرض ، ثم حدّد ج . شياباريلّي سنة 1866 تماهي مدار النجوم المذنّبةPerséides ، وهو كبش معروف منذ أكثر من عشرة قرون ، مع مذنب اكتشف في سنة 1862 . ان هذا الرابط بين الشهب والنيازك هو ظاهرة سوف تعرف سمتها العامة سريعاً وهي تثبت الفرضية التي صاغها د . كيركود Kirkwood أولاً في سنة 1861 ، وبموجبها تتألف النيازك من بقايا حاصلة على اثر تفتت نواة الشهب بصورة تدريجية .

ولكن حصلت نتائج ذات مدلول آخر . لقد رأينا عند البحث في البارالاكسات (تغير المناظر) النجومية كيف تستطيع بعض البحوث ـ حتى ولو بقيت لمدة طويلة غير مجدية في ما خص موضوعها ـ أن تؤدي بصورة غير مباشرة إلى اكتشافات مهمة . في الميكانيك السماوي بقيت المعارف واسعة في القرن التاسع عشر بحيث أن التفاعلية العكسية ظلت هي القاعدة : فعن طريق الالهام أو عن طريق التحليل العقلي أو الحساب كان يجري البحث عن أجسام مفترضة كان الراصدون يكتشفون فيها بعد وجودها الفعلي . مشهورة ومكررة ، ومعنية بمجال لا تقبل فيه العقول المتصوفة بدون تمنع أن يمارس العلم سلطته. لعبت التأكيدات المادية على الافتراضات أو التنبؤات دوراً ، في ذلك الزمن ، لصالح العقلانية . معطيةً لعلم الفلك ، مرة اخرى ، دوراً في تطور تيارات الرأي العام ، هذا إن لم يكن لها دور في تطوّر العقائد .

السيارات الجديدة : لقد تم للعالم و . هرشل ، وعن طريق الصدفة حين ما كان يبحث عن نجوم مزدوجة ، اكتشاف الكوكب السيار الذي سمي فيها بعد « اورانوس » ، وذلك في سنة 1781 . وكان لهذا الشيء قطر ظاهر مرئي . وسرعان ما تبين أنه قد رُصِد كنجم ، منذ سنة 1690 وعلى عدة دفعات . وعلى الرغم من الضعف في تنقله السنوي ، بمقدار اربع درجات في السنة ، استطاع ب. اورياني Ori:ni ، من ميلانو أن يحدد له مداراً ملائماً نوعا ما منذ 1785 . وكان نصف محوره الكبير يساوي عشرين مرة محور المدار الأرضي .

ولكن الفلكي البرليني ج. بود J.Bode كان قد تعرف على صيغة بسيطة تعطي مسلسلاً من الأعداد تمثل بشكل صحيح المسافات بين الشمس والكواكب السيارة التي كانت معروفة . وهي صيغة تجريبية وضعت سنة 1772 من قبل ج. تيتيوس Titius . ان الحد من هذه السلسلة الذي يلي الحد المقرر للكوكب زحل يمثل المسافة بين النجم الجديد والشمس . وارتدت الصيغة بعد ذلك صفة القانون التجريبي الحق ، الذي ما يزال تبريره النظري غير حاصل اليوم . فبين الكوكبين المرّيخ Mars والمشتري هنالك ثغرة . وقد اشار اليها كبلر Kepler ، كما اعطت القاعدة التي وضعهاتيتيوس وبودBode المسافة التي كان من المفترض أن تتواجد فيها النجمة الغائبة .

في حين ـ وبناء على مبادهة من فون زاك Zach ـ قامت مجموعة من الفلكيين الألمان بوضع برنامج رصد منهجي بحثاً عن الكوكب السيار المفترض . وبصورة عرضية التفت ج. بيازي Piazzi ، وهو يحدد مواقع بعض النجوم في مرشد باليرم ، وذلك ابتداءً من أول كانون الثاني سنة 1801 ، إلى شيء ضخامته من الدرجة 8 وليس له مظهر المذنب ولكنه يتنقل بين ليلة وليلة . واستطاع

أن يرصده طيلة ستة أسابيع . وتحصل لدى بود الهام بان ما يراه هو الكوكب المبحوث عنه . ولكن كان من الضروري معرفة مداره املاً بالعثور عليه في السماء ، ذلك أن اقترانه بالشمس جعل محاولات رصده مستحيلة بصورة مؤقتة . . كما أن الطرق النصف تجريبية المستعملة يومئذٍ من أجل تحديد المدارات غير البيضاوية لا يمكن أن تطبق بنجاح على قوس مدار بمثل قصر المدار المتوفر يومئذٍ . وتشاء الصدفة السعيدة ان يكون الرياضي الشاب غوس الذي انهى دراساته منذ عهد قريب ، قد حصل على عناصر الحل وركزها بهذه المناسبة . وانطلق يحدد المدار على اساس ثلاثة رصود للكوكب (وهي الطريقة الكلاسيكية عند غوس ، والتي ما تزال مطبقة اليوم) ، ثم ضبّط المدار سنداً لرصودات اخرى عولجت بطريقة المربعات الصغرى .

إن الكتاب الذي عرض فيه غوس عمله ، وهو « تيورياموتس كوربورم كولستيوم » الشهير ، الذي صدر سنة 1809 ، يتميز بوضوح ملفت . واليوم تطبق طريقة المربعات الصغرى كثيراً ،وخارج اللزوم ، حتى أن النتائج الخداعة الحاصلة عن طريقها تنزع الثقة منها . ومن المأمول أن يتعلم اعداؤها ومحبذوها من النص الأصلي ما هي شروط تطبيقها .

وكان غوس مؤهلاً بسرعة لتقديم العناصر المطلوبة التي تتيح اعادة اكتشاف الكوكب السيار الذي سمي سيريس Cérès . وكان المحور النصفي الكبير متناسباً مع قاعدة تيتيوس Titius ، وكانت مناسبة تبرر المشروع الذي تصوره الفلكيون الألمان وإن لم يتضمنه برنامجهم . ويشار إلى أن اكتشاف بيازي قد حصل في الوقت الذي توصل فيه الفيلسوف هيغل ـ الأقل توفيقاً من مواطنه كانت Kant في محاولاته الفلكية ـ إلى تبيين اطروحة مفادها أن الكواكب السيارة لا يمكن ان تتعدى السبعة . .

وفي سنة 1802 اكتشف هـ. اولبرس Olbers ، من بريم ، كوكباً سياراً جديداً هو بالاس Pallas ، في نقطة مجاورة لمدار سيريس Cérès. ومحور هذا الكوكب الكبير له قيمة الكوكب الآخر . وهكذا امكن سد الثغرة . وكان الاكتشاف باعثاً على الضيق . فقد استنتج اولبرس وجود كوكب سيار وحيد في البداية ثم تفكك فولّد كبثاً من الكواكب السيارة الصغيرة تسمى استيروييد Astroîdes أو نجيمات . ويمكن لمدارات هذه النجيمات أن تكون منفصلة ، ولكنها جميعاً يجب أن تقطع نفس الخط المستقيم ، وهو الخط الذي يحمل الشعاع الاتجاهي للكوكب الابتدائي عندما زال واندثر . وهكذا وجدت منطقتان في السماء يتوجب رصدهما بشكل خاص . وفي الواقع تم العثور في سنة 1804 على النجيم الثالث في احدى المنطقتين ، وفي سنة 1807 تم العثور على الرابع في المنطقة الأخرى . ومع ذلك كان تحليل اولبرس غير صحيح ، فالاختلال في المدارات الحاصل بفعل الكواكب السيارة الكبرى لم يكن ليمكن سطوحها من الاحتفاظ بمستقيم مشترك بينها ،دائماً ، هذا إذا افترضنا وجود هذه الميزة اساساً .

ومضت حقبة طويلة من الزمن قبل وقوع اكتشافات لاحقة . إن عدم وجود خارطات سماوية جيدة كان يجعل من الصعب التعرف على هوية النجيمات المحتملة . لقد رأينا اعلاه أن خارطات أكاديمية برلين قد وضعت لهذه الغاية . وحتى قبل ان تنشر ، فقد اتاحت التعرف على نجيمة خامسة ، وذلك سنة 1845 بفضل فلكي هاو الماني هو ك. هنكي Hencke الذي اكتشف أيضاً النجيمة

السادسة بعد ذلك بسنتين . ومنذ ذلك الحين ، لم تمض سنة دون أن يزداد عدد النجيمات .

ذلك هو باختصار التاريخ العجيب ، تاريخ اكتشاف النجيمات . ومن جراء الأدوار التي لعبتها بآن واحد المصادفة والاستلهام والفرضيات الخاطئة والنظريات الرياضية ،حدثت شبه قصة ذات قفزات متعددة ، الحكمة منها تقوم على أن الجهود العنيدة تلقى دائماً مكافأتها . اما ما يتعلق بأهمية هذه المواضيع في مجال علم الفلك ، وبصورة خاصة في مجال علم الفلك الأساسي وفي مجال علم الكون فهي لم تظهر حقاً إلا في القرن العشرين .

اكتشاف نبتون : إن الجداول عن اورانوس لم تبق لمدة طويلة متوافقة مع الأرصاد ، فقد نشر T. بوفارد Bouvard عنها جداول جديدة سنة 1821 . وقد اضطر إلى التخلي عن الأرصاد القديمة ، من اجل تمثيل افضل للأرصاد الجديدة . وسرعان ما ظهر الخلاف أو الفرق فبلغ دقيقتين في نهاية عشرين سنة . وبدا قصور النظرية معزواً إلى سببين :

فقانون نيوتن لم يكن دقيقاً ، أو أن وجود كتلة مجهولة يشيع الاضطراب في الحركة . لقد سبق ان صاغ كليرو Clairaut أول فرضية تتعلق بحركة القمر وهو في أدنى منازله إلى الأرض ، ثم رفض هذه الفرضية بحق . فهي في الواقع لا تمكن من تقليص الخلاف دون ان تثير خلافات اخرى . والفرضية الثانية وقد أوحى بها بوقار ذاته ، كانت موضوع بحوث مستقلة قام بها كل من لوفريه Le Verrier وادامس Adams .

وإذا تصورنا أن كوكباً سياراً أثار الاضطراب في حركة اورانوس ، فإن المجهولات في المسألة هي ، من جهة ، عناصر الكوكب المفترض . ومن جهة اخرى التصحيحات الواجب ادخالها على العناصر التي نسبت في السابق إلى اورانوس . إن بقايا الرصد ، رصد اورانوس ، ضعيفة جداً فلا تتيح تحديد هذه المجهولات الأربعة عشر . وكان لا بد من فرضيات تبسيطية مثل افتراض مدارات كوكبين ضمن نفس السطح ، وتَقَبُّلِ صحة قاعدة تيتيوس الخ . وعلى هذا الأساس بنى لوفريه (Le Verrier) بحوثه في سنة 1845 . وفي 31 آب 1846 نشر عناصر مدار الكوكب المجهول . وفي 23 ايلول التالي تلقى ج. غال Galle ، من مرصد برلين ، كتاباً يحدد فيه لوفريه (Le Verrier) الموقع المفترض ويطلب إليه البحث عن الكوكب في السماء . ولما كانت خرائط اكاديمية برلين حول المنطقة المشار إليها قد نشرت استطاع غال ، في نفس الليلة أن يرصد في الدقيقة 52 من الموقع المحدد شيئاً غير موجود على الخارطة . وفي الليلة التالية كان هذا الشيء قد غير مكانه تغييراً محسوثاً بحيث يدل على طبيعته الكوكبية السيارة . واحدثت ظروف احاطت باكتشاف الكوكب الجديد « نبتون » ، ضجة في المجتمع العلمي وفي الجماهير . وقبل ذلك بسنة وفي تشرين الأول سنة 1845 ، وفي الوقت الذي بدأ فيه لوفريه بالعمل ، تلقى ج. ايري Airy ، مدير مرصد غرينتش من ج. س. آدامس عناصر مدار الكوكب المشاغب المفترض . ودونما ثقة كبيرة بالنتائج الحاصلة على يد زميله الشاب (وكان عمره يومئذٍ ستاً وعشرين سنة) ، لم يقم الفلكي الملكي بنشر هذه النتائج . ولكنه أمر باجراء بحوث حول هذا الشيء في مرصد كمبريدج ابتداءً من تموز 1846 ، بعد أن دفعته اليها ملحوظة صدرت في الشهر السابق حيث نشر لوفريه عناصر جزئية تأتلف مع عناصر آدامس . ولعدم وجود خارطة كان على الفلكيين في

كمبريدج أن يكتشفوا مواقع النجوم على عدة دفعات ثم مقارنتها من اجل اكتشاف الحركة المحتملة لأي منها . وكان هؤلاء الفلكيون ينقصهم الرشد حول هذه النقطة، فاطلعوا على الاكتشاف الذي توصل إليه غال قبل ان يكتشفوا انهم يمتلكون ، بين اكثر من ثلاثة آلاف رصد للنجوم ، ثلاثة ارصاد لهذا الكوكب .

وبقي آدامس ولوفريه غرباء عن المناظرات التي قامت حول ابوة الاكتشاف . واعتبر فضلهم متساوياً . وكان الحل الذي قدمه لوفريه اكثر دقة من حل آدامس ، ويمثل بصورة افضل حركة اورانوس . والعناصر التي قدمها الرجلان عن نبتون كانت متقاربة جداً ، ومختلفة تماماً عن العناصر المستخلصة من الأرصاد اللاحقة . من ذلك أن نصف المحور الكبير الذي يساوي 39 مرة نصف محور المدار الأرضي وفقاً لقاعدة تيتيوس ، والذي اعتبره آدامس ولوفريه على التوالي 37 مرة و 36 مرة ، لم يبلغ الا ثلاثين . ولم تؤد المعطيات ، هنا ، إلا إلى تحديد قوس المدار الظاهري الذي يتوافق مع الحقبة التي كانت فيها الاضطرابات الحاصلة لاورانوس مهمة ، لا إلى التعرف على المدار ذاته . ونظراً لعدم فهم ذلك حاول كبار من معاصري لوفريه أن يقللوا من دور هذا الأخير في الاكتشاف. وفي الحقيقة، اقتصر دور الصدفة على السماح للبحوث بأن تُباشر نسبياً بعد فترة قليلة من اقتران نبتون مع اورانوس (1822)، وهي الحقبة التي حصلت فيها اعلى نسبة من التشويش .

علم الفلك واللامرئي : يتبع مركز الثقل في أي نظام ثنائي حركة مستقيمة وموحدة النسق . وكل كوكب في النظام له حركته الخاصة المؤلفة من هذه الحركة المستقيمة ومن حركته الخاصة المدارية حول مركز الجاذبية. وعلى ذلك فوجود قرين غير مرئي يمكن أن ينكشف من خلال وجود تفاوت دوري في الحركة الظاهرة للنجم ، تفاوتٍ يندمج مع التفاوت السنوي الذي يرد إلى « البارالاكس » .

وتوصل بيسل ، في دراساته حول الحركات الذاتية وحركات « البارالاكس » إلى تحليل مجمل الأرصاد الدقيقة التي اجريت على نجمتين براقتين هما « سيريوس » و « بروسيون » . واستطاع ان يؤكد ، في سنة 1844 ، ان مواقع هذه الكواكب تظهر تفاوتاً دورياً ضعيفاً (من درجة "2 و "1) ولكنه ثابت ، ويبرره فقط وجود قرين ، قرب كل كوكب ، وهذا القرين مزود بكتلة شبيهة بكتلة الشمس . ومات بيسل في سنة 1846 قبل اكتشاف الكوكب المشوش على اورانوس ، هذا الكوكب الذي آمن بوجوده مع الأوائل الذين آمنوا بهذا الوجود ، قبل اكتشاف اقران سيريوس وبروسيون .

وتحدّد لسيريوس مدار دقيق من قبل بيترز **C.Peters** سنة 1851 وأويرس **A.Auwers** سنة 1862 ، كما رُصد من قبل كلارك سنة 1862 أثناء تجربة لشبحيّته الجديدة من عيار 45 سنتم . واكتشف قرين بروسيون ، الذي اكتشف أويرس مداره بذات الوقت مع مدار قرين سيريوس ، سنة 1896 على يد شابرل وذلك عبر المنظار الكاسر من عيار 91 سنتم في ليك . وكان الموضوعان نجمين ضعيفي اللمعان (صنّفنا فيما بعد تحت اسم « الأقزام البيضاء ») ، ورغم الأبعاد المعقولة ("8 و"6) للمدارات النسبية ، فإنّ فارقاً من 10 « ماغنيتود » ، بالنسبة إلى لمعان النجم الرئيسي ، جعل الرصد صعباً في الحالتين .

ان التعبير « علم الفلك واللامرئي » المطبق يومئذٍ على هذا المجال من البحوث ، مميز للإحساس بالشجاعة الذي اقترنت به هذه الأعمال ، في زمن كان فيه العالم الكواكبي ، الذي تمت موضعته منذ عهد قريب على بعد مليارات الأشعة الأرضية بعيداً عن عالمنا ، هذا التعبير أخذ بالكاد

ينفتح امام الدراسات النظرية . وسرعان ما اقتصرت الرؤية البصرية على ان تكون وسيلة استقصاء من بين وسائل اخرى كثيرة . إن الفصل البصري بين الكواكب والتي صنفها علم الأطياف كمزدوجة ، سوف لن تثير أي انفعال . وبقي اكتشاف اقران سيريوس وبروسيون حدثاً استثنائياً : وإذا كانت الدراسات الحديثة « للبارالاكس » قد اتاحت اكتشاف عدد كبير من التنقلات الدورية المعزاة إلى اقران مخفية ، فلم يكن بالامكان أن يحسب ـ بوثوق ـ إلا أحجام دزينة منها ، وكان لا بد من الفوتوغرافيا ، ومن مساعدة الشبحية من عيار 5 أمتار في جبل بالومار حتى يتحقق الاكتشاف البصري الثالث وذلك سنة 1955 .

الميكانيك السماوي : بعد اعمال لاغرانج ولابلاس اصبح بالامكان التصدي للمشكلة الأساسية مشكلة **الميكانيك السماوي** : أي وضع نظرية حول الكواكب السيارة بعد اعتبار مجمل اضطراباتها المتبادلة . وهذا العمل حققه لوڤريه سنة 1846 حتى وفاته في سنة 1877 . وقد ناقش مجموعة الأرصاد السابقة للكواكب ،فحدّداحجامها ، وعناصرها ، وحَسَبَ جداولَها . ومكنه هذا العمل الضخم من تمثيل الحركات دون ان تظهر بقايا الأرصاد الحسية ، ما عدا استثناءات قليلة . والخلاف الوحيد المهم كان يتعلق بكوكب عطارد Mercure الذي قدمت نقطة السمت فيه اسبقية لم يكن بالامكان خفض مقدارها "38 في السنة بالنسبة إلى حركته النظرية . وفي أواخر القرن عاد س. نيوكومب إلى درس الكواكب الأولى الأربعة ، وناقش اكثر من ستة آلاف رصد هاجري . واتخذت مذكرته : « عناصر النجوم الأربع . . . » (The Elements of the four inner Planets 1895) التي ظهرت في سنة 1895 كنموذج لكل البحوث اللاحقة في هذا المجال . وأدت اعماله ، في ما خص الثوابت الأساسية ، إلى اعتماد قيم اصطلاحية ما تزال معتمدة حتى اليوم .

إن الحركة ، الغامضة لسمت عطارد ، والتي اكدها نيوكومب ، ورفعها إلى "41 في السنة، قد اثارت فرضيات مختلفة . ودام البحث لمدة طويلة عن كوكب مشاغب « متداخل مع عطارد » عمد سلفاً باسم فولكين Vulcain ، وقد رسم لوڤريه مداره المحتمل . ومن الملاحظ أنه ـ بخلاف البعض ـ لم يتفق لوڤريه ولا نيكومب على اعطاء كبير أهمية لتفسيراتهم لهذه الظاهرة . إن نظرية النسبية وحدها سوف تقدم التفسير المرضي ، كما أنها سوف تجد في هذه الظاهرة اكثر تبريراتها التجريبية شهرةً .

إن النظرية الصعبة حول القمر كانت موضوع العديد من البحوث التي وسمت مراحلها الأبرز بظهور جداول م. دموازو Damoiseau (1824) وجداول ب. هنسن Hansen 1857 ، كما اقترنت بنظرية ج . و . هيل Hill (1877) ، الذي ادخل محاور رجوع متحركة ، وتبعته في ذلك الاعمال الحديثة؛ وبالدراسة التي قام بها ادامس سنة 1853 لحركة الحضيض. حول هذه النقطة الأخيرة فسد التوافق بين النظرية والرصد وقام جدل انتصر فيه ادامس: ان الجزء التجريبي الخالص للتسارع المزمن في القمر ، قد أُدْخِلَ بفعل تبدل سرعة دوران الأرض (يراجع المجلّد الثاني ، القسم 3، الكتاب 1، الفصل 2) .

إن الميكانيك السماوي النظري ، الذي اغتنى بصورة خاصة بأعمال و.ر. هملتون حول المعادلات العمومية(1834) وأعمال ش. جاكوبي حول اختزال نظام المعادلات التفاضلية التي تؤدي إليها مشكلة « الأجسام الثلاثة » (1844) ، مدين لهنري بوانكاريه بامكانية توجه جديد . ومن اعمال

بوانكاريه ، المكثفة جداً بحيث تستعصي على التحليل هنا ، أننا لن نذكر الا مذكرة صدرت سنة 1889 بعنوان : « حول مسألة « الأجسام الثلاثة » ومعادلات الديناميك » : في هذه المذكرة التي يمكن ان تعتبر من ذرى الفكر الرياضي قصدبوانكاريهدراسة التلاقي المحتمل في تطورات تقليدية مستخدمة من أجل حل المعادلات في مسألة الأجسام الثلاثة . وانطلق من الحلول المرحلية التي اوجد نظريتها للمناسبة ، حتى توصل إلى استنتاج غير متوقع : إن السلاسل متفارقة ، أو على الأقل لا يمكنها أن تتمتع بخاصية التلاقي الموحد . وفي الطريق اكتشف وجود ثلاث طبقات من الحلول المرحلية ، كما تخيل نظرية المثقلات المتميزة ، وكما ادخل في البحث عنها الفكرة الجديدة فكرة معادلة المتغيرات ، كما اكتشف وجود الحلول التماسية ، وبنى نظرية الثوابت المتكاملة ، كما وضع أول حجر في النظرية الطاقية ergodique ، فضلاً عن نتائج اخرى اساسية مثل اثبات عدم وجود متكامل تحليلي موحد وجديد في مسألة الأجسام الثلاثة ، أو توسيع قاعدة كوشي المتعلقة بالمعادلات التفاضلية .

وقلما استغلت اعمال بوانكاريه التي جمع قسم منها في كتاب « المناهج الجديدة في الميكانيك السماوي » (1892 - 1899) . وظل الميكانيك السماوي في الحالة التجريدية التي كانت سائدة في بداياته ، كما يشهد بذلك أن الكتاب الكبير الذي وضعه ف. تيسران Tisserand (1889 - 1896) ما يزال حتى الآن الكتاب الأساسي بالنسبة إلى الممارس . وبمعالجة المسائل بكل عموميتها فتح بوانكاريه السبيل الوحيد الممكن أمام التقدم .

VII - الدراسات الفيزيائية في النظام الشمسي

إن الرصد البصري للقمر وللكواكب وتوابعها وللمذنبات كان موضوع عدد ضخم من الأعمال التي قلما برز اثرها في تقدم علم الفلك . ولن نقف بشكل خاص إلا عند الدراسات الجغرافية القمرية sélénographiques .

لقد ساهمت خارطات شروتر Schröter (1791 - 1802) وأعمال و. بير Beer ومادلر Mädler (1834 - 1837) وأعمال ج. شميدت Schmidt (1878) على تثبيت الجداول القمرية . وحلت الفوتوغرافيا محل الرسم بصورة عاجلة . وقدم « الأطلس الفوتوغرافي للقمر » (1896 - 1910) الذي وضعه لووي Loewyوبويزو Puiseux ، والمأخوذ عن كليشيهات أخذت بواسطة المرصد الاستوائي المتكىء من عيار 60 سنتم في باريس ، لدراسة محيط القمر ، وهي مستندات ما تزال ذات قيمة حتى اليوم . أن المعلومات المنبثقة عن الرصد البصري لم تخلُ من اخطاء ، ودراستها دراسة نقدية صعبة . ومن بين الأوهام البصرية هناك الوهم المتعلق بقنوات المرّيخ Mars وهو شهير ، وكان سيكّي أول من اعطى في سنة 1859 اسم قناة ، لبعض الخطوط المستقيمة المشاهدة على صورة الكوكب . وجذبت ارصاد شيابارلي Schiaparell انطلاقاً من سنة 1877 ، الانتباه حول هذه الأشكال الهندسية وقامت فرضيات مغالية في الخيال حول منشئها . وقد دلت الأرصاد اللاحقة فيما بعد على طبيعتها الخيالية .

وطبق نظام سبكتروغرافيا على المذنبات في سنة 1864 من قبل دوناتي Donati الذي استطاع أن يتعرف على المفعول الخاص بالتأجج الذاتي ، ثم تلاه في سنة 1868 هوغينز Huggins الذي اكتشف وجود المركبات الهيدروكربونية .

واتاحت الفوتومترية ل.ج.ب. بوند G.B.Bond، في سنة 1860، ثم لزولنر Zöllner ، ابتداءً من سنة 1865 ، ان يجريا القياسات الأولى لألبيدو Albedo الكواكب ، وهو الجزء من الضوء الآتي ، والذي يعكسه السطح . أما القيم التي حصلت بالنسبة إلى المريخ والزهرة والمشتري فقد كانت قيمتها زائدة بمقدار الثلث ، وسطياً .

النجمة الشاهد : الشمس : إن الشمس هي الكوكب الوحيد الذي يمكن رصده بشكل ظاهر بصرياً . فالظاهرات البادية على الشمس ذات أهمية رئيسية بالنسبة إلى النظريات المتعلقة بالتكوين الفيزيائي للنجوم .

والرصد البسيط البصري يتيح الحصول على معلومات مهمة . ومن العجب أن لا تكون هذه الأرصاد قد نظمت بشكل جدي إلا في القرن التاسع عشر . وقد بدأ الرصد بدراسة البقع في الشمس . وقد اجرى هـ. شوابي Schwabe وهو فلكي ألماني هاو ، ابتداء من سنة 1826 احصاءً يومياً لعدد البقع المرئية . ومنذ 1843 لاحظ أن هذا العدد يتغير اجمالاً بشكل منتظم ووفقاً لحقبة مدتها عشر سنوات . وقد توضحت هذه الحقبة من قبل ر. ولف Wolf ، من بارن Berne وجعلت (11,1) سنة . وهذه هي الدورة غير العشرية ، التي عرفت في سنة 1851 علاقتها بدورة النشاط المغناطيسي الأرضي .

وبفضل استعمال الفوتوهليوغرافيا توضحت الاحصاءات اليومية لعدد البقع وسطحها الاجمالي بشكل منهجي ، كما هو جارٍ حتى اليوم في مراصد غرينتش وزوريخ .

وتابع ر. ش. كارنغتون وج. سبورر sporer دراسة البقع. فقد تقرر على يد الأول، في سنة 1859 وتوضح على يد الثاني، انه بعد تضاؤل الدورة، تظهر البقع من جديد بعيداً عن خط الاستواء الشمسي ثم تأخذ بالاقتراب منه بصورة تدريجية فتصله عند حدها الأدنى التالي وهذا ما سمي بقانون سبوررSpörer . بين كارنغتون أن حقبة دوران نقاط سطح الشمس تتزايد بمقدار ارتفاعها ووضع في سنة 1863 قانون هذا التغيير . وحدد الحقبة اليومية الدورانية ، لدوران خطّ الاستواء بـ (25,4) يوماً كما قدم عناصر موقع محور دوران الشمس بقيم ما تزال مستعملة اصطلاحاً حتى اليوم ، وهذا مثل نادر على الاستمرارية بين الثوابت الفلكية .

اثناء الكسوف الكلي للشمس يتغطى سطح الفوتوسفير ، وهو المصدر الرئيسي للضوء ، فيمكن مشاهدة الأقسام الأخرى من الشمس : اي الكروموسفير ، بشكل حاشية براقة وردية ينبثق عنها حدبات والتاج وهو هالة بيضاء . وفقط اثناء كسوف 1842 ـ و 1851 ، اللذين رؤيا في اوروبا ، تمت البادرة باجراء فحص دقيق للظاهرة . وتم وضع نقطتين : ان الحدبات انبعثت عن الكروموسفير ، أما التاج فهو عنصر تكويني في الشمس (وليس هو اثراً ظاهراً من جراء الانتشار) . إن التحليل الطيفي بعد أن تأسس بناء على رصد الشمس ، قد اتاح فيها بعد دراسة مختلف عناصرها ثم التحرر تدريجياً من ضرورة عدم التصرف إلا عند الكسوفات الكاملة ، وهي نادرة ، وموضعية ولا تدوم إلا بضع دقائق .

وكانت في المرحلة الأولى الحدبات التي شاهدها ، في سنة 1868 ج. جانسن، ثم ن. لوكير ، وهي التي دلت على أن الطيف يمكن أن يتحصل خارج الكسوفات ، وذلك عن طريق معالجة الشق معالجة

معينة . وتم تمييز الخطوط اللامعة من الهيدروجين ، مع خط اصفر مجهول الهوية . وأتاح استكشاف الحدبة من خلال الشق اعادة تكوين بنيتها ، كما اشار إلى ذلك لوكير في سنة 1869 . وبتشجيع من سيكّي ، قامت جمعية الطيفيين الايطاليين بدراسة الصور الطيفية لطرف الشمس ، بشكل دائم وبهذا الأسلوب .

وفي سنة 1869، تم الحصول على طيف التاج اثناء حدوث كسوف شوهد في الولايات المتحدة من قبل و. هركنس Harknessوس. آ. يونغ . وبدا هذا الطيف بشكل شعاع براق اخضر لم يدخل في الطيف الشمسي ، وقد عزي إلى عنصر بسيط وخيالي هو « الكلورونيوم » . ونعرف الآن ان هذا الشعاع هو في الواقع بسبب وجود حديد شديد التأيّن ومنذ سنة 1930 فقط اصبح رصد التاج ممكناً خارج أوقات الكسوف .

وفي سنة 1870 ، واثناء كسوف شوهد في اسبانيا تمكن س. آ. يونغ من رصد طيف الكروموسفير بشكل متوقع لطيف برق ، أي خيوط براقة تحل تماماً محل الخيوط الامتصاصية خلال الثواني القليلة التي يكون فيها الفوتو سفير مغطى دون أن يكون الكروموسفير مغطى بدوره . ويحدث الفوتوسفير عادة الأساس المستمر البراق ، وفوقه تترجم الخطوط الراكنة بفعل التضاد ، الانبثاق الكروموسفيري . ويحدث هذا الانبثاق في الطبقة القلابة التي حدد رصد يونغ موقعها في اسفل الكروموسفير كما تثبت من قلة سماكتها ، التي قيست بالزاوية بفعل المسافة التي حققها القمر اثناء الظهور الخاطف للطيف البرقي .

إن طيف الكروموسفير يقدم خيطاً اصفر ، سبق ورصد في طيف الحدبات ولا يظهر في الطيف الشمسي . وبفضل فرضية أوفر حظاً من فرضية الكورونيوم ، عزي هذا الخيط من قبل لوكير ، إلى عنصرٍ بسيط جديد هو الهليوم . وبعد مضي خمس وعشرين سنة ، تماماً ، امكن عزل هذا الغاز النادر في المختبر .

إن مسجلات الصور الطيفية الشمسية (spectrohéliographes) المحققة في سنة 1891 ، من قبل هـ. ديلاندر Deslandres في ميدون ومن قبل ج. هـ. هال Hale في شيكاغو اتاحت في بادىء الأمر تصوير الحدبات خارج الكسوفات : فأمام البلاك الفوتوغرافية ، يعزل الشق شعاعاً من طيف الحدبة ، وتقوم حركات مناسبة في الشبحية وفي البلاك بتكوين صورة المنطقة المستكشفة فوق البلاك . ولما كانت العملية تتم في ضوء مونوكرومي واحد (أي لون واحد فقط) فانها تستبعد مجمل اشعاع الفوتوسفير ، وهكذا تنطبق على كل شعاع كروموسفيري . وتمكن هال من تحقيق صور فوتوغرافية للسطح الكامل للكروموسفير بواسطة هذا المبدأ . إن هذه الصور الشمسية الطيفية ، المسجلة بانتظام سوف تشكل بعد ذلك واحداً من اثمن عناصر التوفيق من اجل دراسة الشمس فيزيائياً .

إن الدراسات النظرية حول تركيب الشمس قد تعددت جداً . في وقت كانت فيه بنية الذرة مجهولة ، كما كانت مجهولة فيه قوانين التشعيع ، وحيث كانت التقديرات لدرجة حرارة الشمس السطحية تتراوح بين 1500 درجة إلى عشرة ملايين درجة . وإذاً قلما كانت الدراسات تعطي نتائج ايجابية . إن منشأ الحرارة الشمسية قد أثار العديد من البحوث . ومن بينها البحث الذي قام به بويه

(Pouillet) في سنة (1837) ثم فيول Violle في سنة 1875 . وقد قام هذان بقياس (الثابت الشمسي) الذي يترجم الطاقة المتلقاة من قبل الشمس ، والتي تعادل 2 كالوري صغيرة بالدقيقة وبالسنتمتر المربع . إن الطاقة الكاملة الصادرة هكذا ضخمة . وطرحت مسألة مصدر هذه الطاقة ، والوقت اللازم لها لكي تنفد . واتاحت نظرية هلمولتز Helmholtz (1854) المؤسسة على فرضية التقلص التدريجي للكتلة الشمسية ، تأمين بث الشمس طيلة 50 مليون سنة وهذه الفترة كانت اطول من الفترات التي قادت إليها النظريات الأخرى ، ولكنها بقيت قصيرة جداً في نظر علماء الجيولوجيا . وبعد اكتشاف الراديوم فقط تم استلهام فرضيات اكثر وثوقاً .

من نظرية فاي Faye (1865) حيث اعتبرت الشمس كماكينة حرارية ، بدا الرأي المتعلق بالبقع الشمسية ممكناً حتى عهد قريب : إن الأعاصير العامودية تمتصّ المادة المنبثقة عن الطبقات العميقة ، وتبرد هذه المادة بالتمدد ، فتأخذ مظهراً داكناً إذا قورنت ببقية الفوتوسفير . ومنذ عهد قريب يفضل البعض عزو البقع الشمسية إلى ظاهرات مغناطيسية .

وفيما خص داخل الشمس بدت الدراسة التي قام بها ج. هومر لان Homer Lane ، في سنة 1870، ولمدة طويلة مجرد تمرين حسابي بسيط . لقد اعتبر الكاتب كتلة الشمس مكونة من غاز مكتمل متوازن ثابت الحرارة ، وهذه الفرضية كانت غير واقعية . وفتح اكتشاف النجوم العملاقة ، في سنة 1913 المجال التطبيقي امام النظرية . وفي سنة 1924 لاحظ ادينغتون Eddington ان الشمس بذاتها تتوافق مع هذه النظرية : إن المادة في حالة التأين الزخيم ، تتصرف كما لو كانت غازاً مكتملاً. إن درجة الحرارة المركزية البالغة عشرة ملايين درجة ، والتي توصل إليها لان Lane ، هي الدرجة المقبولة حالياً .

*

* *

إن تطور علم الفلك ذو علاقة وثيقة بتقدم العلوم الرياضية والفيزيائية وحتى الكيميائية . وإذا كان يخرج عن نطاق هذا البحث ، ان نحلل المساهمات التي قدمتها البحوث الفلكية في القرن التاسع عشر لهذه العلوم ، فقد يبدو من المفيد التذكير ببعض من آثارها البعيدة . « إن الوظائف » التي ابتكرها بيسل Bessel ، سنة 1817، فيما يتعلق بنمو الشعاع السهم ارض ـ شمس، وبتأثير من قوى النزوع عن المركز ، هي اليوم ، ضمن جداول ، فوق مكتب المهندس الأكتروني . والسيطرة على المصنوعات الصناعية ترتكز على نظرية الأخطاء التي (أي النظرية) ادخلها غوس في كتابه (تيورياموتوس) (1809) . أن تثبيت الصور الفوتوغرافية بواسطة هيبوسولفيت Hyposulfite الصودا هو طريقة يعود الفضل فيها إلى ج. هرشل (1839) . وعبر حدبة أو نتوء شمسي اكتشف جانسن في سنة 1869 أول مظاهر الهليوم ، وهو الغاز الذي سوف يستعمل فيما بعد لنفخ دواليب السيارات .

وفي النصف الأول من القرن تميز علماء الفلك باكتشافات باهرة . واصبحت اسماء هرشل وبيسل ولوفريه ، وغيرهم كثر معروفةً على الصعيد العالمي . اما الذين تلوهم وحملوا المعلومات لنقلها

إلى خلفائهم ، فقد خانتهم الشهرة : إن اعاظمهم امثال ارجيلندر Argelandre أو بيكيرنغ Pickering ، المجهولين من الجماهير . ولم يحفظ الجمهور عن جانسن الا هروبه بالبالون من باريس المحاصرة سنة 1870 (علماً بان السماء الغائمة حرمته يومئذٍ من رصد الكسوف الذي كان السبب في سفره) . وبعد ذلك بقليل ، وبعد اكتشاف عالم ما فوق الثريا تسببت الاكتشافات الجديدة بشهرة اسماء آخرين . ويجدر بنا أن لا ننسى ان البحوث الدؤوبة التي قام بها الأسلاف هي التي جعلت هذه الاكتشافات ممكنة .

القسم الثالث

العلوم الفيزيائية

لقد درسنا سابقاً تطور الميكانيك وعلم الفلك ، ويبقى أمامنا في هذا القسم الثالث ذكر تطور القطاعات الأخرى من علوم الفيزياء مثل البصريات والسمعيات والكهرباء ، والمغناطيس والحرارة والكيمياء . والخطة التي نتبعها تعالج على التوالي هذه المجالات العلمية المختلفة . إن مظهر هذه الخطة التقليدي ـ وبصورة خاصة مشابهتها للخطة المعتمدة في المجلد السابق ، بالنسبة إلى القرن الثامن عشر، تبدو لنا متوافقة تماماً مع عادات الفكر عند معظم الفيزيائيين في القرن التاسع عشر ، كما تتطابق مع بنية التعليم العلمي بخلال هذه الحقبة .

لا شك ـ كما سنرى في عدة مناسبات ـ أن مناطق التماس بين المجالات العلمية المختلفة سوف تتكاثر ولكن قلّما دعت الضرورة ـ إلا في أواخر القرن ، وبعد ظهور وازدهار بعض النظريات الجديدة ـ إلى وجوب هيكل جديدة لمجمل العلوم الفيزيائية . وبواسطة العديد من السبل هيأ القرن التاسع عشر هذه الإعادة للتنظيم العام ولكن هذا التنظيم لم ينطلق انطلاقة مفيدة إلا في السنوات الأولى من هذا القرن . إن ما قدمه القرن التاسع عشر في مجال العلوم الفيزيائية واسع اتساعاً ضخماً . ففي حين حقق علم البصريات الوسائلي تقدماً ملحوظاً ، وفي حين تولد قطاع جديد في التحليل الطيفي ، تلقت نظرية الضوء سلسلة من الثورات المتتالية ، بفضل تجدد النظرية التأرجحية ثم بفضل انشاء النظرية الكهرمغناطيسية التي قال بها ماكسويل Maxwell . وعلى الرغم من أن علم السمعيات هو علم قاصرٌ نوع ما ، فقد تطور ايضاً على الصعيد النظري والتجريبي .

واستمر علم المغناطيسية والكهرباءالستاتيةفي تقدمهما رغم حداثة نشأتهما الحقّة في القرن الثامن عشر . ولكن اختراع البطارية الكهربائية في مطلع سنة 1800 اطلق ثورة اكبر واضخم بكثير: ويكمن احدُ مكاسب القرن التاسع عشر الرئيسية ، في هذا الشأن ، في الوضع النظري والاستثمار التقني ، المتلازمين تقريباً ، للخصائص المختلفة التي قدمها « المائع الكهربائي » إن أسماء : فولتا Volta ، دافي

Davy ، أورستد Oersted ، امبير Ampère ، فراداي Farady ، اوهم Ohm ، و. ويبر W.Weber ، كيرشوف Kirchoff و . تومسن W. Thomson، ومكسويل Maxwell، هرتز Hertz، ج . ج . تومسن Thomson j.j ولورانتز Lorentz ليست إلا بعضاً من صناع هذه الملحمة الفخمة التي قدمت ـ بفضل توسيع وتغيير هذا القطاع من الفيزياء ـ إلى البشرية أدوات جديدة لا مثيل لها .

إن مجال الظاهرات الحرارية قد عرف ثورةً شبه حاسمة تقريباً ، وذلك بفضل وضع مبادىء الترموديناميك وبفضل دراسة الطاقة المشعة ، وهما عنصران جديدان انعكس مفهومهما على الصعيد التجريبي وفي مجال التطبيقات العملية . وإذا كانت المراحل الأولى لتطور الآلات الحرارية في القرن الثامن عشر قد كان لها القليل من التطبيقات النظرية ، بالمقابل ، وفي القرن التالي ، أقام إيجاد علم الترموديناميك علاقة وثيقة بين العلم والتقنية .

وعرفت الكيمياء أيضاً ازدهاراً سريعاً جداً ، وُسِم أيضاً بتقدمه التقني ، مع ظهور النظرية الذرية الحديثة، وولادة ونمو الكيمياء العضوية وكذلك العلاقات التي قامت بين الكيمياء والفيزياء والعلوم الحياتية والطب ، ثم التوسع الضخم للكيمياء الصناعية . إن القرن التاسع عشر كمرحلة رئيسية في تطور العلوم الفيزيائية ، قد تميز بآنٍ واحدٍ بولادة وبنمو الفيزياء الرياضية ، وبالتقدم السريع في هذا المجال ، وبالتقدم التجريبي الضخم في كل القطاعات ثم بالتطبيق المباشر للتجديدات النظرية الأخيرة على مجمل التقنيات . وبفضل هذا التقدم الملحوظ ساهمت العلوم الفيزيائية بشكل متزايد الفعالية في الثورة الصناعية والتقنية، مع مساعدتها في هيمنة الأداة الرياضية ، هيمنة متزايدة ، في عالم الفيزياء .

الفصل الأول

تقدم علم البصريات الآلاتي

شهد القرن التاسع عشر ازدهاراً عجيباً في مجالْ علم البصريات ، بمظهريه النظري والتجريبي ؛ وبـذات الوقت عملت سلسلة فخمـة من الانجازات عـلى تجديـد الأسـس الذاتيـة لعلم البصـريـات النـظري . فتحققت انجازاتٍ ضخمـة في مجال علم البـصـريات الآلاتي والتجـريبي . ومن الصعب توضيح تأثيرات لعبت دوراً حاسماً جداً في هذه الانجازات التي منها نمو التكنولوجيا ونمو الرياضيات أو تطور النظريات . وفي الواقع ، يبدو أن هذه العوامل المتنوعة قد تداخلت بشكل خصب جداً ، بفضل التعاون الواعي أو غير الواعي ، بين العلماء والتقنيين من مختلف المجالات .

وسوف نحاول ، فيما يلي ، استعـراض المظاهـر الرئيسيـة لنمو وتـطور علم البصـريـات كعلم تجريبي

I - الفوتومتريا

إن بدايات هذا العلم تعود إلى بيار بوغر Pierre Bouguer الذي وضـع له ، في سنة 1729 ، أسسه في كتابه المسمى « رسالـة بصريـة حول تـدرج الضوء » . وفي القـسم الأول من هـذا الكتاب المسمى « طرق قياس قوة الضوء » ، أشار إلى الشكل الذي تختلف فيه اضاءة سطح بحسب بعده عن مصدر الضوء . واعلن فيه ، وبرر بوضوح كبير ، قانون تغيير الأضاءة الذي سماه قوة الضوء ، وذلك تبعاً لعكس مربع المسافة بين مصدر الضوء والسطح المضاء . وهذا القانون هو من القوانين الأساس في الفوتومتريا . اما القسـم الثاني المعنون « في الشفافية والكثافة » ، فيتضمن القانـون الذي يحمـل اسـم صاحبه ، والذي يشير إلى أن اللوغاريتمية يجب أن تُظْهِرَ دائماً في كل الأجسـامَ (سواء كانت شفافة أو غير شفافة) ، تضاؤلَ النور » . بعد هذا قارن بوغر في ما بين مصادر الضوء الاصطناعي والـطبيعي المختلفة وعرف زخمها . واخترع هو الفوتومتر سنة 1748 ، ولكن اختراع الهليومتر في نفس السنـة هو الذي جذب انتباه معاصريه .

وشاهد القرن التاسع عشر تطور العديد من الفوتومترات ، وكان اغلبها يستخدم العين كمتلقٍ وبالتالي فهو محدود فقط بالقسم المنظور من الطيف . وفي أواخر القرن فقط ظهرت الفوتومترات الفيزيائية .

إن الفوتومترات الأولى قد ارتكزت على قانون بوغر . إن اعمال مالوس Malus وآراغو Arago ، في مطلع القرن التاسع عشر ، والتي ادت إلى قوانين تغير زخم الضوء المكثف ، قد اتاحت الوصول إلى شكل جديد من الفوتومتر ، مستقل عن قانون عكس المربعات . إن الفوتومتر الأول القائم على التكثيف والذي هو من صنع آراغو (1833) استخدم موشورات مزدوجة الحواشي كمكثف ومحلل . وهذا الاستخدام للتكثيف هدفه تنويع الزخم الضوئي ، وقد افاد بشكل خاص في التصوير الطيفي المتري (سبكتروفوتومتري) ، حيث يُدْخِلُ تغيرُ المسافة تعقيداتٍ كثيرة . ونشير أيضاً إلى فوتو متر ر. بونسن R.Bunsen ، الذي وُصِفَ لأول مرة سنة 1843، والذي خصص لدراسات حول المفعول الكيميائي للضوء .

إن تحسين الفوتومترات كان من نتائجه تغيير المعالم . فاستبدلت الشمعة باللمبة التي قدمها كارسل Carcel سنة 1800 . وفي ما بعد قدمت لمبات الكيروزين ثم الكربون المشبع (الهيدروكربون ، 1877) ؛ولمبة هفنر Hefner (1884)، العاملة على « آسيتات الآميل » ، اعتمدت كَمعْلم لشمعة عشرية من قبل مؤتمر الالكتروتكنيك الدولي في جنيف سنة 1896 .

على هذه المعالم غير المريحة والمحددة بدقة غير كافية ، ادى تطور الترمودياميك ، إلى تفضيل معيار فيول Violle ولو مبدئياً على الأقل ، وتحدد هذا المعيار بمغطس من البلاتين المذاب ، عند درجة حرارة التجمد ، ثم معياراً يحدده جسم أسود . ولكن صعوبات التنفيذ لم تتح هذا التقدم المهم إلا منذ عهد قريب .

إن قياسات الفوتومترية لقيت مصاعب لا يمكن انكارها بخلال القرن التاسع عشر ، وهي مصاعب من انواع مختلفة ولكنها تتعلق بمبدأ هذه التقنية بالذات . وعلى هذا ومع تقدم التحليل الطيفي ، بدا مفهوم الضوء الأبيض ، الذي كان حتى ذلك الحين سائداً تماماً ، بدا بكل تعقيداته . ان توسع الطيف ، وتدخل قوانين الترموديناميك ونظرية الكهرمغناطيسية في الضوء ، وتعقيدات المسائل الفيزيولوجية في الرؤية ، كل ذلك كشف عن صعوبات أخرى ذات اهمية أيضاً ، ادت إلى إعادة النظر بشكل تام بمسألة الفوتومترية ، في محاولة لتحديد مختلف اشكالها .

II - التحليل الطيفي

منشأ المطيافية أو السبكتروكوبي spectroscopie : إن انتاج الأطياف الضوئية بواسطة الموشورات الزجاجية كان معروفاً قبل أن يوضح نيوتون الشروط العملية وقبل أن يفسر هذه الظاهرة ، ظاهرة « التشتت » بواسطة الانكسارية المتنوعة لمختلف الاشعاعات التي تؤلف الضوء « الأبيض » (راجع مجلد 2 ، القسم 2 ، الكتاب الاول ، الفصل الرابع).في القرن الثامن عشر أدى صنع الشبحيات الأولى التي لا تحلل الضوء إلى تحسين المعدات المستخدمة وإلى معرفة اكثر دقة لظاهرة التشتت .

ففضلاً عن الضوء الأبيض الشمسي ، تم تحليل أنوار أخرى بشكل عفوي ، وفي سنة 1752 لاحظ ث. ملفيل Th.Melville أن طيف لهب الكحول الملحي قلما يعطي إلا اللون الأصفر .

إلا أن طيف الضوء الشمسي بقي الموضوع الأساسي في الدراسات . وسواد بعض املاح الفضة (مثل الكلورور والترات) عند تعرضها للضوء كان معروفاً منذ زمن بعيد . وقد حاول العديد من المجربين وَمنهم هـ. شولز Schulze في سنة 1727 ، ثم في أواخر القرن الثامن عشر ، تشارلز Charles ، وودغود Wedgood ، وديفي Davy وريتر Ritter أن يعيدوا انتاج الصور الحاصلة في الغرفة السوداء . ولكنهم لم يحصلوا إلا على نتائج تافهة وسريعة الزوال . وفي سنة 1777 بين شيلي Scheele أن المفعول الكيميائي لاشعاعات الطيف كان يتزايد كلما ازداد الانتقال من الأحمر نحو البنفسجي .

الانتشارات الأولى للطيف : في فجر القرن التاسع عشر قدم رصد الطيف الشمسي سلسلة من الأحداث الجديدة ذات الأهمية البالغة . في سنة 1801 ، حسن وليم هرشل Herschel التجارب التي حاولها بعض الفيزيائيين في القرن الثامن عشر ، ودرس الخصائص الحرارية للطيف بواسطة ميزان حرارة حساس جداً ، وبين أن الحماوة تزداد كلما تم الابتعاد عن البنفسجي حتى يصل إلى أقصاه وراء الطيف المرئي من جهة الأحمر . وتجاه هذه الملاحظة غير المتوقعة على الإطلاق ، لاحظ و. هرشل ، وبحق ما يلي :

« من المفيد أحياناً في فلسفة الطبيعة (أي في الفيزياء) أن نشك في كل ما يعتبر ثابتاً ، خاصة إذا توفرت الوسائل لرفع كل شك وإذا كانت في متناول اليد » (تأملات فلسفية ، 1800 ص 255) .

واعتقد هرشل أن هذه الظاهرة سببها اشعاع غير منظور شبهه هو بالحرارة المشعة التي سبق أن درسها نيوتون ولامبير (راجع أيضاً دراسة ج. الارد G.Allard في الفقر 7 من الفصل 6) وبين أن هذه الأشعة كانت معكوسة ومكسورة مثل الضوء المنظور ، وهذه الواقعة ثبتها سوسور Saussure وبيكتت Pictet سنة 1803 .واجرى ج. بيرارد J.Bérard . في سنة 1814 وت. ج. سيبك Seebeck ، من 1815 إلى 1824 دراسة اكثر تفصيلاً حول هذا الاشعاع . واستعيدت الدراسة انطلاقاً من سنة 1835 من قبل م. ميلوني Melloni بواسطة لاقط شديد الحساسية ، هو المزدوج الحراري الكهربائي الذي اخترعه نوبيلي Nobili سنة 1833 . وجمعت النتائج المهمة التي حصل عليها ميلوني في كتاب ذي عنوان ايحائي : « التلوين الحراري » . ان خصائص هذا الاشعاع قد درست من قبل ج . هرشل (وجود مناطق أقل نشاطاً، 1840) ، ثم من قبل فوربس Forbes ونوبلوخ knoblouch (التكثيف) ، ومن قبل فوكولت Foucault وفيزو Fizeau (التقاطع ، 1847) ، ومن قبل موتون Mouton (قياس أطوال الموجة ، 1879) ،الخ. وفي سنة1881 أوجد س. ب لنغلي S.P.Langley لاقطاً اكثر حساسية هو « البولومتر » «bolomètre» ، وهو حلقة كهربائية تتضمن شريطاً من البلاتين الرفيع جداً (في البداية خيط حديد) ، كانت درجة حرارته ، وبالتالي مقاومته تزداد تحت تأثير الاشعاع ، ويتيح « الكلفانومتر » الحساس قياس تغيرات التيار ، المرتبطة بتغيرات درجة الحرارة . وبذات الوقت تثبتت استمرارية التدرج بين النور المرئي والشعاع تحت الأحمر بفضل استعمال البلاكات الفوتوغرافية ذات الحساسية الواسعة .

وفي سنة 1801 اسقط الفيزيائي الألماني ج. ريتر طيفاً شمسياً فوق بلاك مغطاة بنيترات الفضّة، فلاحظ أن السواد يمتد إلى ما وراء الطيف المرئي من جهة اللون البنفسجي. وثبت هذا الامتداد الجديد للطيف، بعد توضيحه على يد ت. يونغ و. و. ولاستون W.Wollaston في سنة 1811 ثم على يد بيرار Bérard سنة 1814، ثبت تجريبياً بواسطة الفوتوغرافيا التي بينت الاستمرارية بين هذا الاشعاع والنور المرئي. وعلى موازاة نمو الفوتوكيميا وتطبيقاتها البيولوجية (راجع بشكل خاص دراسة ج. ف لروا الفصل 5، الكتاب1، القسم 5) اتاحت التقدمات النظرية الربط بشكل نهائي بين فوق البنفسجي وبين الطيف المرئي.

إن وحدة الطيف قد شعر بها بعض الفيزيائيين منذ الارصاد الأولى التي قام بها و. هرشل وج. ريتر، ولكنها حوربت من قبل آخرين محاربة حادة. إذ رفض هؤلاء أن يشبهوا هذه الأشعة غير المنظورة (تحت الأحمر وفوق البنفسجي، بالضوء الملون، الناشط فقط بالنسبة للعين). واتاحت النظرية التأرجحية في الضوء تفسير هذه الوحدة باضافة طول موجة إلى كل اشعاع: فبالنسبة إلى الأشعة المنظورة بين الأحمر والبنفسجي تبلغ بين (8 , 0 و4, 0) ميكرون. وأبعد من ذلك هناك تحت الأحمر ووراء ذلك هناك فوق البنفسجي. وفي النصف الثاني من القرن، قدم ماكسويل تفسيراً جديداً كما تدخلت بذات الوقت تأكيدات حاسمة تجريبية. وبعد عدة سنوات تسببت اعمال هرتز بتوسيع جديد في مجال الاشعاعات الكهرمغناطيسية.

بدايات المطيافية أو (بدايات السبكتروسكوبي): ولكن إلى جانب هذه البحوث كان الطيف المرئي موضوع العديد من الأعمال التي ادت إلى خلق فرع جديد من الأعمال هو «سبكتروسكوبي». في سنة 1802، وبعد الارصاد التي قام بها و. هرشل وج. ريتر، لاحظ و. ولاستون، في الطيف الشمسي، وجود العديد من الخطوط السوداء التي اعجزه تفسيرها كما عجز عن تقدير اهميتها كاملة.

وقام عالم بصري من ميونيخ، اسمه جوزيف فون فرونهوفر Joseph Von Fraunhofer (1787 - 1826) بتحسين دراسة الأطياف وذلك بابتكاره النمطين الكبيرين من أجهزة الرصد التي استعملت منذ ذلك الحين، وقدم نتائج كثيرة ومهمة جداً. فوضع موجهاً أمام الموشور المستعمل كآلة تشتيت ثم رصد الطيف الحاصل بواسطة منظار مزولة (أي آلة لقياس الأبعاد) فأوجد بالتالي أول سبكتروسكوب. واخترع أيضاً آلات أخرى مشتتة هي شبكات التفريق، المكونة من جملة منتظمة من الشقوق أو من الأشرطة العاكسة) ومن مسافات مظلمة مصفوفة فوق بعضها بانتظام. وقام بعمله بواسطة خيوط رفيعة مشدودة بين شبكتين من الخطوط المتوازية ثم بواسطة شبكات زجاجية (أربعة آلاف خط ضمن عرض 1،2 سنتم).

إن نظرية تشغيل الشبكات، القائمة على تشابك الأشعة المنقولة (أو المعكوسة) بواسطة الشقوق المتتالية، قد وضعها يونغ بواسطة النظرية التأرجحية. واستطاع فرونهوفر انطلاقاً من سنة 1815 أن يعود إلى دراسة الطيف الشمسي، فرصد 576 خطاً أسود أفرد فيما بينها، معيناً الأكثر اهمية فيها ـ بعد أن عثر عليها داخل طيف الضوء الشمسي المعكوس من قبل القمر ومن قبل الزهرة ـ وعينها بواسطة الحروف الأبجدية A ، B . . . ثمaوb. . . وقاس طول موجاتها بدقة بلغت 1/1000 . ولاحظ

أن الخط الأسود D يحتل نفس الموقع الذي يحتله الخط الأصفر من السوديوم . ولكنه لم يستطع تفسير هذا الحدث. ودرس فرونهوفر ايضاً العديد من الأطياف الأخرى ، فلاحظ وجود خطوط منيرة ضمن الأطياف الحاصلة بواسطة اقواس كهربائية .

إن التقدم في حقل التجريب الذي حققه فرونهوفر والنتائج المهمة الحاصلة جَرَّت العديد من الفيزيائيين إلى دراسة الأطياف الأكثر تنوعاً . في حين أن الأجهزة المشتتة كانت تتحسن باستمرار ـ وقد صنع أول سبكتروسكوب حديث ذي موشورات سنة 1856 من قبل ميرستين Meyerstein ـ وتراكمت النتائج العديدة والمتنوعة دون فهم للظاهرة بالذات بشكل واضح . وفي سنة 1822 حسن بروستر Brewster الجهاز الذي استعمله ملفيل فاخترع اللمبة المونوكروماتية ذات الكحول المالحة . وفي نفس السنة وصف ج. هرشل الأطياف الحاصلة من جراء ادخال املاح معدنية متنوعة في لهب الكحول وبشكل رذاذ . ولاحظ، أنه « في كثير من الحالات تشكل الألوان المتقلة إلى اللهب بفضل هذه الأسس المتنوعة وسيلةً اكيدةً وسهلةً من أجل اكتشاف كميات صغيرة منها » . إن المبدأ الموضوع على هذا الشكل ، مبدأ التعرف على ماهية الأجسام بواسطة اطيافها قد تأكد على يد تلبوت Talbot ، في سنة 1834 ، على نماذج من السترونيوم والليتيوم .

ودرس العديد من المجربين اطياف اللهب والأقواس ، كما درسوا اطياف الشمس والكواكب والنجوم (ان تطبيقاتها على علم الفلك قد درست من قبل ج . ليفي ، في الفصل الثاني من القسم الثاني) في حين كان ويتستون Wheatstone يظن أن خيوط طيف الشعاع الكهربائي مرتبطة فقط بالقطبين الكترود (1835) . ذكر ماسون Masson (1851) وجود خطوط مشتركة بين هذه الأطياف المختلفة . وفي سنة 1853 بيّن أنغستروم Angström أن هذه الخطوط السوداء تأتي من الغاز الذي تقدح بداخله الشرارات . وقد جهد العديد من الفيزيائيين ، ولكن عبثاً ، في تفسير خطوط الارسال أو البث أو خطوط الامتصاص ، بواسطة التشابك . وفي سنة 1849 لجأ فوكولت إلى ظاهرة الامتصاص ، إنما على المثل الوحيد ،مثل الخط D .

التحليل الطيفي : أدى اختراع أنابيب جسلر Geissler إلى تجديد الاهتمام بالسبكتروسكوبي ، وابتداءً من 1856 تكاثرت بسرعة ارصاد اطياف الغاز المندَّر . واخيراً تم التوصل إلى تفسير إجمالي مرض وذلك في تشرين الأول (اكتوبر) سنة 1859 في مذكرةٍ وردت تحت عنوان « حول خطوط فرونهوفر »وذلك في المجلة الاكاديمية البرلينية : «Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin» وموقعة من قبل غوستاف كيرشوف (1824 - 1887) وكان استاذ الفيزياء في هيدلبرغ ومن الكيميائي روبرت و. بنسن W.Bensen (1811 - 1899) . ونجد كامناً في هذه المذكرة كل مبادىء التحليل الكيميائي المرتكز على رصد الطيف . وبين المؤلفون أن كل خط في الطيف سببه وجود عنصر معين وبالعكس ، ونجحوا ايضاً في تفسير الظاهرة التي بقيت حتى ذلك الحين غامضة ، وهي ظاهرة إنقلاب الخطوط (راجع في هذا الموضوع دراسة ج. الار،الفصل6) . لقد ولد التحليل الطيفي (وقامت ادعاءات حادة حول الأسبقية ، بعد نشر اعمال كيرشوف وبونسن ، من قبل أنغستروم ، ومن قبل الفيزيائيين الفرنسيين لصالح فوكولت ، وقامت مطالبات اخرى أيضاً لصالح ستوكس

Stoks ، وتالبوت ، الخ . ولكن إذا بدا أن هذا الاكتشاف كان كامناً في أفكار العديد من الفيزيائيين ، فان الفضل فيه يعود إلى كيرشوف وبونسن اللذين استطاعا التعبير عنه بشكل دقيق وعام) ،وأولى نجاحات التحليل الطيفي كانت في سنة 1861 باكتشاف معدنيين جديدين بواسطة طيفيهما : الكازيوم والروبيديوم اللذين سميا بهذين الاسمين سنداً لخطيهما الأزرق والأحمر . وتلت اكتشافات اخرى : التاليوم (كروكس Crookes ، 1861)، الأنديوم (ريش Reich وريختر Riechter ، 1863) ، الغاليوم (ليكوك دي بوابودران Lecoq de Boisbaudran، 1875) ، الهليوم (واكتشف في الطيف الشمسي سنة 1866) ، في حين شرع هوغينز Huggins بتحديد ماهية الخطوط الرئيسية في الطيف الشمسي سنة (1864) . كما قامت أعمال عديدة لتحليل الأطياف النجومية (راجع دراسة ج . ليفي، القسم السابق) أو من أجل تمييز وتصنيف انماط الأطياف الأساسية المرصودة (اطياف الغمائم ، وأطياف اللهب وأطياف الأقواس وأطياف الشرارات) .

يتوافق مع هذه النهضة في التحليل الطيفي تقدم ثابت في الأجهزة المستعملة وفي السبكتروسكوب وفي الشبكات . وصنع الألماني ف . آ . نوبرت ، وهو صانع ميكرومترات على الزجاج بقصد قياس تكبير الميكروسكوبات ، صنع ، حوالي 1850 ، شبكاتٍ تتضمن ستة آلاف خط فوق 2,5 سنتم (إن قوة حل الشبكة تتعلق بآن واحد باتساع السطح المخطط وبعدد الخطوط) . وتم فيما بعد تحقيق تقدم مهم في الولايات المتحدة حيث بنى ل . م . روذر فورد سنة 1870 أول شبكة قدرتها على الحل تساوي افضل المنشورات : فهو يتضمن 35 ألف خط مرسومة بالماسة فوق مرآة معدنية عرضها5سنتم . وفي أواخر القرن التاسع عشر ، بنى هـ . آ . رولاند H.A.Rowland شبكاتٍ ذاتَ عرض يساوي 15 سنتم وتتضمن مئة ألف خط . واستخدم ايضاً شبكات مرسومة فوق مرايا مقعرة، فاستطاع بالتالي تصوير الطيف الشمسي في سنة 1897 معدداً اكثر من عشرين الف شعاع .

الصياغات الطيفية الأولى : إن الدراسات العديدة للطيف والتي حققت قبل عمل كيرشوف وبونسن ، قد نفذت في ضوء المبادىء الجديدة . لقد استعمل الفيزيائي السويدي اندرس Anders جوناس انغستروم شبكة « نوبرت » فحقق أطوال موجات قريبة من مئة خط في الطيف الشمسي . واعتمدت « بحوثه حول الطيف الشمسي » (إيبسالا ، 1868) كمرجع طيلة سنوات طويلة . واعتمد اسمه دولياً في سنة 1905 للدلالة على وحدة الطول المعتمدة عادة في السبكتروسكوبي أي في مجال علم تصوير الطيف الشمسي (انغستروم (Å) = 10^{-7} مم) . نذكر أيضاً أعمال ج . بلوكر J.Plücker و هيتورف W.Hittorf وج . ج . كايسر G. J.Kayser وش اكسنر C.Exner وك . رونج C.Runge الخ .

وعندما نشر منديليف Mendeléev في سنة 1869 تصنيفه الدوري للعناصر ، لوحظ أن كل عنصر له طيف يزداد تعقيده بمقدار علو مرتبته أو رقمه في التصنيف . ودلت الدراسة الدقيقة لخيوط الهيدروجين ، التي درست من قبل انغستروم ، على أهمّيّة خاصّة جداً . فوجود صيغة تمكن من ربط أطوال الموجة بهذه الخطوط كان مقبولاً لدى العديد من الفيزيائيين . وقد بذل ج . ديوار J.Dewar وآ .كورنو A.Cornu جهوداً ذهبت عبثاً في البحث عن اكتشاف هذه الصيغة . وفي سنة 1885 فقط نجح

الفيزيائي، السويسري ج.ج. بالمر J.J.Balmer تجريبياً في اثبات ان الخطوط التسعة التي كانت معروفة يومئذٍ عن طيف هذا الغاز لها أطوال موجة (λ) معينة بالمعادلة التالية :

$\lambda = h \frac{m^2}{m^2 - 4}$، حيث تساوي الثابتة h ($h = 3\,645{,}6$ Å) وحيث m تساوي عدداً صحيحاً اعلى من (2) . وقد تم التحقق من هذه الصيغة بعناية فائقة . ودلت الأرصاد الحديثة على ثبوت الخطوط المعادلة للأحد والثلاثين حداً أولياً . في كتابه «بحوث حول تركيب اطياف بث العناصر الكيميائية » (ستوكهولم 1890) . ووسع ج. ريد برغ Reydberg هذه الصيغة لتشمل عناصر اخرى مستبدلاً طول الموجة (λ) بعكسها (ν) أو عدد الموجات . وهكذا استطاع أن يمثل كل سلسلة طيفية بالفرق بين حدي المعادلة $R/(n - C)^2$ ؛ حيث R هي ثابتة شاملة (ثابتة ريدبرغ $= 109\,677.7 cm^{-1}$. وحيث C هي ثابتة نسبية متعلقة بالسلسلة المدروسة ، وحيث n هي عدد صحيح متغير بتغير كل خط . واستعمل السبكتروسكو بيان الألمان، كايسر Kayser ورونج Runge ، في كتبهما صيغاً مشابهة . وفي سنة 1908 عمم « ريتز » هذه الصيغة بفضل مبدئه على الخلائط، ولكن بعد عدة سنوات فقط جرت المحاولات الأولى في التفسير النظري المرتكز على الفرضيات الجديدة حول البنية الذرية .

اثر دوبلر ـ فيزو Doppler - Fizeau : في سنة 1842 بين الفيزيائي النمساوي كريستيان دوبلر Ch.Doppler وجود ظاهرة ، اعيد كشفها في سنة 1848 من قبل فيزو ـ نظرية سوف يكون لها العديد من التطبيقات المهمة وخاصة في « الاستروفيزيا » . ويقوم هذا الأثر أو أثر « دوبلر » أو « دوبلر وفيزو » على التغير الظاهر في وتيرة نظام موجات تغذيها إما حركة مصدر الموجات أو حركة الراصد بالنسبة إلى مكان الانتشار . هذان المظهران لهما طبيعة مختلفة . احدهما يغير طول الموجة ، والآخر يدخل تغييراً في السرعة الظاهرة . وعلى كلٍ ، وبشأن السرعات البسيطة يمكن تماثلهما للوهلة الأولى . بعد سنة 1848 طبق هوغينز هذا الأثر في قياس سرعة سيريوس Sirius الشعاعية ، ولكن الصيغة الأساسية لم تتحقق تجريبياً إلا في سنة 1914 من قبل فابري Fabry وبويسون Buisson .

III - أدوات البصريات

قلما طبقت النظرية الحديثة في البصريات الهندسية التي اسسها كبلر سنة 1604 (المجلد الثاني) إلا على الوسائل الأكثر بساطة . إن التقدم الضخم الذي حقق في القرن التاسع عشر قد أتاح أن يحتل الحساب مكانة مهمة في دراسة وضع واستكمال ادوات البصريات المتزايدة التعقيد . في حين أن اعمال مالوس Malus 1808 وغوس Gauss (1838 - 1841)، وموبيوس Mobius ، و ليستن Listing 1845 وضعت أسس النظرية القريبة من الأنظمة المركزة، والدراسات البصرية الفيزيولوجية ، المحكومة بعمل هلمولتز العميق ، هذه الأعمال أتاحت فهماً أفضل لعملية العين كما وضعت المشكلة المعقدة ، مشكلة الابصار في موضعها الصحيح . فضلاً عن ذلك ، وبذات الوقت الذي استكملت فيه تقنية زجاج الابصار كثف ابصاريون من ذوي الموهبة العظيمة مثل باتنزفال Petzval وآ. آبي A.Abbe ، الدراسة النظرية ومزجوها مع التجربة ، منجزين أدواتٍ أقوى واكثر وضوحاً وأسهل استعمالاً . وكان مجمل هذه العلوم الرصدية يساعد تماماً على صنع هذه الأدوات الجديدة وكذلك على الانتشار السريع

لتطبيقات تقنية جديدة هي الفوتوغرافية .

البدايات ، والتطبيقات الأولى للفوتوغرافية : وجهت البحوث العديدة حول المفاعيل الكيميائية التي للنور ، والحاصلة في بداية القرن التاسع عشر ، نحو اعادة انتاج الصور التي ظهرت على السطح الأخير الخلفي من الغرفة السوداء .

وفكر المخترع الفرنسي نيسيفورنيبس Necéphore Niepce في تطبيقات الليتوغرافيا الطباعية الحجرية ، فأجرى دراسة منهجية لكل الأجسام الحساسة تجاه فعل الضوء . وفي أيار 1816 نجح جزئياً في تثبيت الصور المتكونة على ورق مدهون بمادة كلورور الفضة . ولكن ، وتجاه عدم اكتمال النتيجة الحاصلة ، جرب عدداً آخر من المواد الحساسة والدعائم ، مع تحسين الصور بفضل اختراع الغشاء الحاجز ذي الفتحة . واستعمل صفيحة مغطاة بحُمَّر جودي (Judée) ، وفي سنة 1826 حصل بعد 8 ساعات من العرض ، على أول صورة فوتوغرافية حقيقية ـ صورة حصلت في الغرفة السوداء فوق سطح حساس تجاه النور الدائم والمستمر المستحدث عن طريق «الهليوغرافور» أي « الحفر الفوتوغرافي الشمسي » . ولم ينجح في استثمار اختراعه فاشترك في سنة 1829 مع الرسام الفرنسي لويس داغر Daguerre . وانجز هذا الأخير بعد موت نيبس الحاصل سنة 1833 اسلوباً آخر هو اسلوب التصوير الداغري ، واستعمل كسند حساس صفيحةً من الفضة مغشاةً بيود الفضة . واستكشف داغر وثبت عن طريق أبخرة الزئبق الصورة الكامنة الحاصلة واستبعد بقايا يود الفضة بمحلول هيبوسلفات الصوديوم . وفي سنة 1839 تبنى لآراغو حمل الحكومة الفرنسية على شراء هذا الاختراع لقاء مدخول لمدى الحياة ممنوح لداغر ولابن ن. نيبس . ولما شاعت طريقة التصوير الداغري نجحت نجاحاً سريعاً

وبخلال بضعة سنوات تحولت هذه التقنية المخبرية التي لم تكن تعطي الا صورة وحيدة يصعب حفظها ، تحولت إلى طريقة بسيطة قليلة الكلفة . وحسن الانكليزي تالبوت النتائج التي حصل عليها منذ 1835 وحقق « النيكاتيف » على الورق ، وانطلاقاً من هذا « النيكاتيف » أصبح بالامكان سحب نماذج من الصور بمقدار الرغبة . وامكن تحسين هذه الطريقة عن طريق تصوير « النيكاتيف » فوق صفيحة من الزجاج مغشاة بالالبومين (نيبس دي سان فكتور ، 1847) ثم باستبدال الألبومين بمادة الكولوديون والجيلاتين ،وذلك باستعمال فيلم السلّولويد الخ .

وأتاح الحصول على طبقات حساسة متزايدة السرعة الحصول على صوَر آنية . وهذه التقنية الأخيرة مكنت الفلكي جول جانسن Jules Janssen من الحصول ، على سلسلة متتابعة من الصور الفوتوغرافية لكوكب الزهرة عند مروره في سنة 1874 ، وذلك وفقاً لأسلوب مكن ، بعد تحسينه من قبل الأميركي مويبريدج Muybridge ومن قبل الفرنسي ج. ماري J.Marey ، من استباق اختراع السينما الفوتوغرافية في آخر القرن .

وبعد عدة محاولات جرت في سنة 1851 من قبل نيبس دي سان فكتور . Niepce de St Victor ، امكن تحقيق الفوتوغرافية بالألوان باسلوب ثلاثي التلوين وذلك سنة 1868 بفضل ش . كروس Ch.Cros ول. ديكوس دي هورون L.Ducos Hauron . وفي سنة 1893 انجز ج. ليبمان

G.Lippman طريقة اصيلة جداً مكنته من الحصول على جائزة نوبل (1908) . وترتكز هذه الطريقة على تكوين طبقات رقيقة جداً من الفضة داخل القشرة الفوتوغرافية ، وهذه الطبقات مفصولة عن بعضها البعض بنصف طول موجة تبثها موجات متوقفة تعكسها مرآة من الزئبق توضع فوقها الغشاوة الحساسة وبواسطة الضوء المعكوس يرى اللون المطابق للموجة والذي أثر في القشرة . ورغم جودة هذه الطريقة فقد استبدلت بغيرها من الأسهل استعمالاً . وبعد ظهورها بدت الصفيحة الفوتوغرافية وبآنٍ واحد موضع استقبال مفيد للضوء وكوسيلة استقصائية علمية لا مثيل لها . ومنذ 1842 صور ي. بيكريل Becquerel في فرنسا وج. و. درابر J.W.Draper في الولايات المتحدة الطيف الشمسي مثبتين وجود خطوط فرونهوفر في القسم فوق البنفسجي . واتاح استعمال مواد ملونة خاصة وطبقات نشيطة اكثر سرعة وحساسية فوق اشرطة عريضة من الاشعاعات ، اتاح « للسبكتروسكوبي » أن تتقدم بسرعة . واستفاد علم الفلك من هذه التقنيات الجديدة كما أنه ساهم في تحسينها مساهمة ناشطة . واعتمد علم الفلك ايضاً الفوتوغرافيا في ادوات الرصد مخففاً بصورة تدريجية دور الأرصاد البصرية . وتم تصوير الشمس فوتوغرافياً لأول مرة من قبل فوكولت وفيزو Fizeau سنة 1845 ، كما تم تصوير القمر من قبل بوند Bond سنة 1850 ، وكذلك المراحل المتتالية لكسوف الشمس من قبل و. دي لارو W.Delarue في سنة 1860 الخ . (درست تطبيقات الفوتوغرافية على علم الفلك من قبل ج. ليفي في الفصل 2 من القسم 2).

واستعملت الأساليب الفوتوغرافية مباشرة أو معدلة لتتلاءم مع الفحص الميكروسكوبي ، وفي آخر القرن استعملت من أجل تحليل الحركة ، وهكذا جددت في علوم الرصد ، فقدمت وسائل الفحص الموضوعية ، الأكثر قوة من الرصد المباشر .

تحسين الشبحيات الفوتوغرافية: أدى تقدم الفوتوغرافيا إلى تحسين الشبحيات الفوتوغرافية. إن العدسة البسيطة غير المميتة للألوان استعملت في الغرفة السوداء قبل اكتشاف الفوتوغرافيا بكثير . ووضعت انماط داغر « الداغروتيب » على أساس شبحية بسيطة صممها ش . ل . شيفاليه C.L.Chevallier (1830) قادرة على تنظيف الألوان ومكونة من عدستين ملصوقتين ، احداهما من « الفلنتيغلاس » والثانية من « الكراون » «Crown» . ورد هذا النموذج إلى شكله الحالي بفضل ت. غراب T.Grubb (1857) ، في حين جعل ج. هـ. دالمير Dallmeyer (1865) العدسات الملصوقة ثلاثاً . وكانت محطات « الداغروتيب » طويلة جداً لأن الشبحيات المستعملة كانت مصونة بقوة بالحواجز ، حتى لا تتشوه الصورة التي تعطيها الشبحية بالزيغان وكان ج. م. بتزفال J.M.Petzval، الاستاذ في جامعة فيّنا أول من قام ببناء شبحيات بناءً على حسابات مسبقة ، وليس فقط بناء على التلمس إن الشبحية (او الجسمية) ذات الصورة الابتدائية التي وضعها بتزفال والمحسوبة حوالي سنة 1840 ما تزال مستعملة بعد تغيير بسيط أدخله عليها العديد من المصورين. إلا أن المصورين الفوتوغرافيين لم يكونوا يمتلكون في حوالي سنة 1850 ألا الشبحية البسيطة والشبحية ذات الصورة. وفي حوالي 1860 حقق ش. آ. ستنهيل C.A.Steinheil « الابلانات » Aplanats وهي شبحيات ذات حقل واسع ومنجاة من الزيغان وملائمة لفوتوغرافية الهندسة المعمارية ولسحب صور للمستندات . إن مبادىء التصحيح الواجب واللازم ادخاله لتلافي عيب خطير في الشبحيات الفوتوغرافية ، وهو عدم تكون الصورة في البؤرة

« استيغماتيسم » ، قد وضعت منذ سنة 1843 من قبل بتزفال . ولكن لـلأسف لم تـلائم أي من الـزجاجات التي وضعت بتصرف النظاراتية الشروط المطلوبة[1] . وفي أواخر القرن اتـاح ظهـور الزجاجات الجديدة امام ب. رودلف P.Rudolph ، وبتشجيع من أ . أبي E.Abbe انجاز الزجاجات المعطلة للاستيغماتيسم (1890) . وهكذا ولدت الشبحيات العصرية .

الميكروسكوب : رغم أن ج. دولون J.Dollond قد حقق ، منذ 1757 شبحيات لمنظار معطل للزيغان الألواني يصحح زيغان الكروية وذلك بمزج عدسات الكرون والفلنت (الصوان) ذات الأشعة الاحديدابية المناسبة (راجع مجلد 2 الكتاب 1 القسم 3)، لم تصنع الشبحيات الأولى للميكروسكوب، المعطلة لزيغان الألوان ، إلا بعد 50 سنة من قبل الهولندي هـ. فان ديل H.Van Deyl ، على أثر الصعوبة التي اعترضته عند جلي عدسات صغيرة بما فيه الكفاية .وكان لهذه الشبحيات طاقة على التكبير ضعيفة (70 إلى 80 X) بسبب الزيغان الهندسي .

وأدخل النظارتي الفرنسي ش. شيڤاليه تحسينات متعددة . وبين الايطالي آميسي Amici أنه من غير المفيد تنظيف وتضبيط كل عدسة من عدسات الشبحية على حدة ، بشرط أن تتعادل. وتتكافأ الزيغانات الذاتية الفردية . واستنتج من ذلك أن شبحية الميكروسكوب قد تتضمن اكثر من عدستين أو ثلاث عدسات :إن بعض الشبحيات الحديثة تتضمن ستاً .

وبالتدريج بينت التجربة وجوب وجود علاقة بين القوة الفاصلة وزاوية الفتح . وبذل آميسي وج.ج. ليستر ، وهو أحد مؤسسي الجمعية الملكية الميكروسكوبية ، الجهد من اجل زيادة زاوية الفتح في شبحياتهم. واتجه خلفاؤهما إلى المبالغة في تطبيق هذا المبدأ مما زاد ، زيادة مهمة ، في الزيغان الهامشي . وفي سنة 1850 ، ادخل آميسي التغطيس بالماء ، وبفضله استطاع التوصل إلى زوايا فتح اكبر مما يتيسر بواسطة النظام الناشف . وقد سبق ، في سنة 1678 ، أن لاحظ ر. هوك وجود جسيمات ميكروسكوبية في الماء ، بواسطة ميكروسكوب بسيط كانت عدسته تلامس سطح الماء ، ولكنه افترض أن التحسن في الصورة يعزى إلى أن ملامسة العدسة للماء تزيل السطح الكاسر للضوء .

وابتداءً من سنة 1866 ، نجح صانع الميكروسكوبات كارل زيس Carl Zeiss ، في جذب اهتمام ارنست آبي إلى مشاكله . فاهتم هذا الأخير بدراسة تشكل الصور داخل الميكروسكوب ودرسه بعمق . وعرف اهمية زاوية الفتح وأدخل فكرة الفتح العددي المنمر . وكانت النتيجة المنطقية لهذه البحوث تطور التغطيس المتسق . وفي سنة 1883 تم انجاز أول شبحية أبوكروماتية (أي مزيلة لتحليل اللون الأبيض) . وكانت هذه الشبحية مصحّحة بشكل يقضي على الزيغان الناتج عن الكروية، وبالنسبة إلى كل الألوان. والشبحيات الفضلى الحالية مشتقة منه .

---

(1) كان الحصول على زجاجات بصرية ذات خصائص عددة ذا أهمية رئيسية في تحقيق أدوات البصريات . ومن المفيد ان نلاحظ ان الصناعة العصرية لزجاجات الابصار في فرنسا وفي ألمانيا وفي انكلترا قد قامت على شخص واحد هو ب . ل . غينان (1745 - 1825) ، من أصل سويسري ، ثم شارك « فرونهوفر » في بافاريا . واسس ابنه هـ . غينان في فرنسا سنة 1827 مصْنع الزجاج الابصاري الكبير المعروف اليوم باسم بارامنتوا . وترك احد شركاء هـ . غينان واسمه ج ـ بونتان G . Bontemps ، فرنسا سنة 1848 واستقر عند شانس Chance ، صانع زجاج ابصاري كبير انكليزي استعمل أساليب غينان .

IV — التكثيف والتشتيت

ظاهرات التكثيف : ظهر الضوء المكثف في علم البصريات ، في فجر القرن التاسع عشر . فمنذ 1669 لاحظ ي. بارتولين E.Bartholin الانكسار المزدوج الذي يصيب الضوء عند مروره في « سباث ايسلندا » . وكان هويجنز Huygens ، في كتابه « كتاب الضوء ، 1690» قد عالج نظريته . إلا أن العلماء ، وحتى مطلع القرن التاسع عشر ، لم يلاحظوا أن تكثيف الضوء كان يرافق أيضاً انعكاسه . وبعد ذلك تطور استخدام الضوء المكثف . وتحقق أول مكثف للضوء في سنة 1828 على يد و. نيكول W.Nicol . وفي سنة 1838 وضع م. سباسكي M.Spassky النظرية . ومن الناحية التطبيقية انجزت جميع الأجهزة من هذا النوع المستخدمة في القسم المرئي من الموشور في القرن التاسع عشر : وهنا نذكر على سبيل المثال المكثف الضوئي (بولاريسكوب) الذي وضعه آ. سيبك A.Seebeek (1830) ، واللاقطة ذات الحجر الكهربائي التي وضعها ج. مولر J.Müller (1835) ، ثم ادخال المعدل من قبل بابنيت Babinet ، (1841) ثم المكثف المسمى مكثف نورنبرغ Nörenberg (1858)

إن استخدامات الضوء المكثف عديدة . في سنة 1811 ، اكتشف آراغو Arago أن صفحة من الكوارتز العامودي على المحور البصري تؤثر في الضوء المكثف ، ولكن ج. بيوت J.Biot اكتشف سنة 1812 أن هذا المفعول المسمى التكثيف الدائر ، يقوم ، بالنسبة إلى الضوء المونوكروماتيكي ، بتدوير للذبذبة الضوئية فوضع قوانين هذه الظاهرة (لقد درست مسائل الأبصار البلوري من قبل ج. اورسل J. Orcel الفصل 1، القسم 4). وتصنف بلورات الكوارتز ضمن فئتين بحسب اتجاه هذا الدوران : ألى اليمين dextrogyres وإلى اليسار lévogyres. وفي سنة 1815 اكتشف بيوت وجود سوائل تحدث دوران الذبذبات الضوئية التي تجتازها: مواد نقية مثل روح التربنتين أو روح الحامض أو محلولات ضمن مذيب غير فاعل مثل الماء ، أو مواد جامدة مثل سكر القصب أو مثل آسيد تارتريك . وعرف أيضاً ان الدوران الذي يحدثه سائل نقي أو ذوب مركز معين يتناسب مع سماكة السائل المقطوع وأدخل العادة التي استمرت وهي عادة تمييز مفعول السائل أو مفعول الذوب بقيمة الدوران المحدثة بفضل عامود طوله (1 دسم) . وفي سنة 1825 عرضت نظرية ظاهرات التكثيف الدوراني من قبل فرنل Fresnel.

وكان الاكتشاف الأكثر اهمية بعد اكتشاف بيوت هو الاكتشاف الذي قام به لويس باستور ، الذي بين في سنة 1848 أن الآسيد تارتريك قد يوجد بشكلين ، ويحدث دورانات متساوية في عددها المطلق وباتجاهات متعاكسة ، وعزا هذا الأمر إلى وجود عدم ترتيب (ديسيمتري) في الجزيء. ودلت اعمال باستور ، بعد استكمالها من قبل لوبل Le Bel وفانت هوف Van't Hoff ، فيما بعد ، على الفائدة من تحديد القوة الدورانية ، من اجل دراسة تكون المركبات العضوية .

الخصائص الابصارية للمعادن : لقد اجتذبت هذه الخصائص انتباه الفيزيائيين في القرن التاسع عشر . وقدم كوشي Cauchy نظرية حول ظاهرات التشتت (تغير مؤشر الانكسار في مادة ما تبعاً لطول موجة الضوء) وانتهى إلى صيغة تتعلق بالأجسام الشفافة ، وهذه الصيغة قد ثبتت في العديد من الحالات . ثم ادخل فيها بعد مؤشرات الانكسار المعقدة ، حتى يفسر الانعكاس المعدني . وبين

ج. ش. جامين J.C.Jamin ، وهو رائد في البحوث التجريبية حول الانعكاس المعدني ، إن الصيغ التي وضعها كوشي تمثل بشكل مناسب نتائج القياسات . ووجد أن مؤشر انكسار الفضة يجب أن يكون أدنى من الوحدة . ولكن هذه النتيجة التي لم تكن لتتلاءم مع استقرارية المكان داخل المعدن ، كانت موضوع جدل كبير وقد نجح آ. كوندت A.Kundt في صنع مؤشورات معدنية رقيقة رقة كافية بحيث يمكن للنور أن يخترقها وهكذا امكن اثبات الواقعة .

V - سرعة الضوء

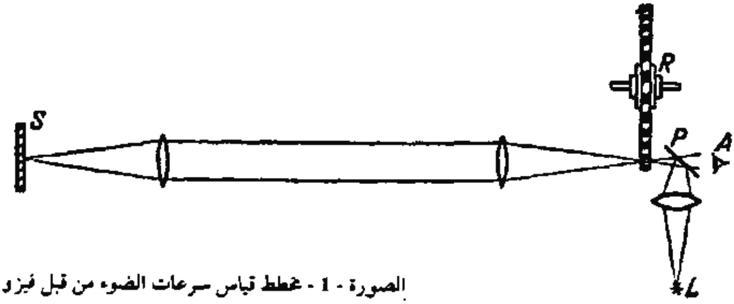
إن تقدم علم البصريات المعداتي في القرن التاسع عشر قد استخدم لدراسة سرعة الضوء (c) . وكان هذا الأمر مهماً جداً لامكانية الاختيار بين نظريتي الضوء اللتين كانتا تتشاطران دعم العلماء : نظرية البث والنظرية الأرجوحية .

« منذ سنوات عدة كان هناك نظامان متنافسان في تفسير الظاهرات الضوئية . من بين هذه الظاهرات هناك ظاهرة هي الأبسط والأبرز ، أي الانكسار ، وهو ينتج عن تأثيرين متناقضين تحدثهما الأجسام ، بحسب محاولة تفسير هذا الانكسار وفقاً لأحدى النظريتين . وسنداً لنظام البث ، يعزى تغير وجهة الضوء إلى تسارع يحدث عند دخوله في الوسط الكاسر . وفي نظام التأرجح يجب أن يتوافق هذا التغيير مع تباطؤ سرعة الانتشار في الشعاع الضوئي » (ل. فوكولت، حوليات الكيمياء والفيزياء مجلد 41، 1853، ص 129) .

وبعد « ويتستون » Wheatstone ، اقترح « اراغو » ، في سنة 1838 استعمال مرآة دوارة لاكتشاف الفرق بين سرعات الضوء في الهواء وفي الماء . وفي سنة 1850 ، وصف « ليون فوكولت » Léon Foucault الذي حسن النظام بإضافة مرآة مقعرة ، وصف كيفية تحديد سرعة الضوء في الهواء ، كما وصف مقارنة السرعات في الماء وفي الهواء . وتقوم الطريقة على تحديد ماهية الزاوية التي تدور حولها مرآة (m) ، في دوران سريع ، في حين يجوب شعاع ضوئي ذهاباً واياباً مسافة طولها عدة امتار بين (m) ومرآة ثابتة M تعيد الشعاع نحو m . وبدا استنتاج « فوكولت » واضحاً : « ان الضوء يتحرك بسرعة أكبر في الهواء أكثر مما يتحرك في الماء » .

وفي سنة 1849 قاس « هـ. ل. فيزو » H.L.Fizeau قياس c بواسطة دولاب مسنن .

وقد وصف مبدأ هذه الطريقة في الصورة رقم - 1 : L هو مصدر ضوئي صغير ما أمكن . وبعد الانعكاس فوق مرآة نصف شفافة P، تتكون صورة لـ L بفضل عدسة اولى وتُقذف فوق دولاب المسنن R . وعندما يدور الدولاب ، تجتاز لمعات خاطفة ضوئية الفجوات الموجودة بين الاسنان وتذهب لتنعكس فوق المرآة S الواقعة على بعد 8633 متراً (لقد اجريت التجربة بين « سورين » و « مونت مارتر ») . وقد كان على الضوء المعكوس من قبل S ان يجتاز فجوة حرة بين سنّين من خلال P قبل أن يصل إلى عين الراصد . وإذا جاء سِنٌ بين ذهاب الضوء ورجوعه ، ذهابه من R ورجوعه إلى R ، يحتل مكان فجوة حرة فإن الراصد لا يرى إلّا الظلمة . ونظراً لمعرفة سرعة دوران الدولاب (12,68 دورة في الثانية) وعدد امنان الدولاب (720)، والمسافة المقطوعة من قبل الضوء (2 × 8633) استطاع « فيزو » الحصول على c = 300 315 كلم في الثانية .



الصورة - 1 - مخطط قياس سرعات الضوء من قبل فيزو

في سنة 1879 ادخل كورنو Cornu تحسينات على طريقة فيزو وذلك برفع المسافة الى 23 كلم والسرعة في دوران الدولاب المسنن إلى 1600 دورة في الثانية مما اتاح له الحصول على نتيجة تساوي : c = 300 030 كلم في الثانية .

وادخل قياس c تأكيداً آخر للنظرية التأرجحية التي تفترض وجود « اثير » . وفي سنة 1818 بين فرنل Fresnel ان سرعة الضوء في جسم متحرك تختلف عن السرعة الحاصلة في نفس الجسم وهو ساكن . وتثبت فيزو من ذلك سنة 1851 .

ولا يمكن انهاء هذا الفصل دون التذكير بالتجارب الشهيرة التي قام آ.م. ميكلسون Michelson بواسطة الفارز « الانترفيرومتر » الذي ابتكره . والقصد كان التثبت من ان « الأثير » يمكن أن يحدث في انتشار الضوء زيغاناً شبيهاً بالزيغان الذي لاحظه فيزو فيما خص الأوساط « المادية » . إن التقرير عن هذه التجربة الذي نشر سنة 1881 اعلن عن نتيجة سلبية ، الأمر الذي يؤدي كما نعلم إلى نظرية النسبية (راجع بهذا الشأن دراسة مدام م . آ . تونيلات في الفصل اللاحق) .

الفارز أو الانترفيرومتر : لقد شاهد القرن التاسع عشر ولادة عدد كبير من الانترفيرومترات . انها أجهزة مرتكزة على تداخل وتفاعل الموجات الضوئية وغايتها قياس المسافات القصيرة ، ذات الأطوال من موجة الاشعاعات المستخدمة لانارة الجهاز . وأطوال موجة الضوء المرئي هي من عيار نصف ميكرون (أي 5 على عشرة آلاف من الملم) (5/10 000 mm) ويمكن تصور امكانية قياس الأطوال الضعيفة بهذه الواسطة . والنظام الذي استخدمه يونغ في تجاربه الشهيرة هو « انترفيرومتر » وكذلك المرايا والموشورات المزدوجة التي وضعها فرنل . وقد استخدمت اجهزة مشابهة في بساطتها ولكنها اسهل استعمالاً لدراسة التشويهات الصغيرة في السطوح ، مثاله كيفية تمددها (فيزو) . كما تم انجاز اجهزة اخرى تعطي حواشي وهدباً اكثر دقة ونعومة . ويستخدم اليوم « انترفيرومتر فابري وبيرو» الذي وصف لأول مرة سنة 1896، في العديد من مجالات الفيزياء وخاصة في مجالات « السبكتروسكوبيا » حيث يتيح دراسة هيكليات متناهية الدقة في الأطياف الذرية . ونشير أيضاً إلى ظهور جهاز زندر Zehnder سنة (1891) الذي يستعمل بشكل عادي ، بعد تعديل قليل في شكله ، في المنافخ لدراسة « ماكيتات » الطيارات .

وهناك تطبيق مهم لمداخلات الأضواء اشير إليه في مذكرة حول « امكـانية الحصـول على طـول موجة ضوئية كمعيـار اساسي للطول » نشـرت سنة 1889 من قبـل ميكلسـون Michelson ومـــورلي Morley ، وفي سنة 1892 ، قاس ميكلسـون المتر المعياري (وقد سمي يومئذٍ النموذج) بأطوال الموجة ، بواسطة الانترفيرومتر الذي وضعه . وبعد ذلك درست المسألة كثيراً . وفي سنة 1960 تم استبدال المتر المعياري بطول الموجة ، فتوج ذلك البحوث التي اقيمت منذ ستين سنة .

الفصل الثاني

تطور نظرية الضوء

تقدم علم البصريات الفيزيائية في مطلع القرن التاسع عشر: توماس يونغ ThomasYoung وأ ـ ل. مالوس E. L. Malus: إن يد النظريات التأرجحية قد تم اعداده عن طريق اعمال مهمة تجريبية تحققت في النصف الأول من القرن التاسع عشر . منذ سنة 1801 استعاد توماس يونغ (1773 - 1829) دراسة الهدب التي تحدثها الشفرات الرقيقة ، فاعلن عن مبدأ التداخلات . وهذا المبدأ ربما أوحت به ظاهرة الضربات : « عندما يصل قسمان من نفس الضوء إلى العين عن طريقين مختلفي الاتجاه وقريبين جداً ، يبلغ الزخم مداه عندما يكون فرق المسافة المقطوعة هو عدد مضاعف الطول . ويبلغ هذا الفرق أدناه في الحالة الوسط »(توماس يونغ في « تأملات فلسفية » ، 1802) .

وقد سبق أن ظن غريمالدي Grimaldi أنه رصد ظاهرة مماثلة ولكن الجهاز الذي استعمله لم يكن يحدث الا هدباً انتشارية انحرافية . ولأول مرة لوحظ فعلاً ، وبحسب عبارة آراغو ان « الضوء إذا اضيف إلى ضوء آخر ، يمكن أن يحدث ضمن شروط ملائمة عتمة وظلاماً » .

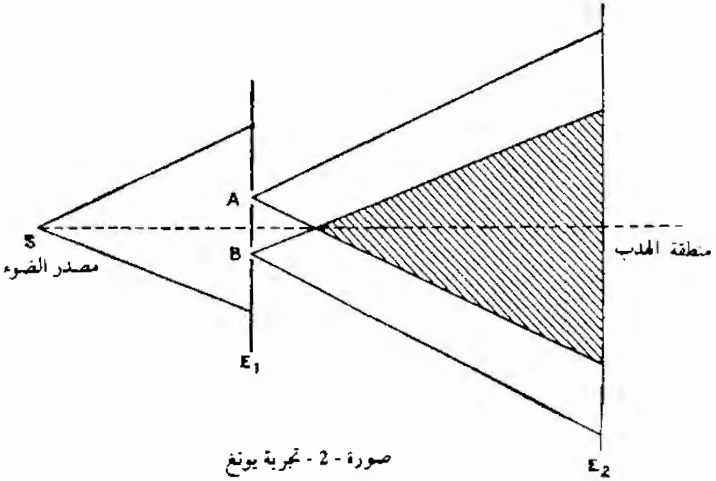
وبواسطة هذا المبدأ فسر يونغ تشكل حلقات نيوتن . واقترح بالضبط تجربة من نوع آخر ذات تحقيق بسيط نظرياً يمكن أن يحدث بسهولة ظاهرات تداخل ضوئية . ويتم الحصول على مصادر لذات الضوء (أي ضوء متجانس) وذلك بتمرير الأشعة الصادرة عن مصدر دقيق عملياً عبر ثقبين دقيقين جداً وقريبين جداً مثقوبين في ذات الشاشة . ويشكل هذان المجموعان من الأشعة المتجانسان الحاصلان على هذا الشكل مخروطين متفارقين بسبب الانحراف الحاصل من جراء دقّة الثقبين . وفي المنطقة المشتركة يلحظ وجود ظاهرات تشابكية (صورة رقم 2) .

إن صياغة قانون كمّي يدخل فيه صراحةً طول الموجة يتيح تحديد القرابة بين مختلف انماط انتاج التداخلات . إن النظرية التأرجحية والتشابه بين الضوء والصوت ، وهي أمور اثبتها بشكل اكثر رشاقة ـ انما اقل دقة ـ أولرد Euler ، بدت وكأنها ظهرت من جديد ببهاء اكبر . وكانت ردات الفعل اكثر

حيوية ، ودلت على أن الأفكار المهمة التي نادى بها يونغ « ظلت محبوسة ومنسية ضمن محفظة الجمعية الملكية » كما أسف لذلك هلمولتز Helmholtz.

وفي نفس الحقبة تقريباً (1808) ، اثبت اتيان لويس مالوس (1775 - 1812) وجود ظاهرات تكثيف ؛ ونشر بعد ذلك بقليل نتائج اعماله (نظرية الانكسار المزدوج للضوء في المواد المتبلرة ضمن مذكرة قدمها علماء مختلفون ، مجلد 2 ، 1810) .

وقد لوحظ منذ وقت طويل الانكسار المزدوج الذي يمثله الضوء وهو يجتاز بلورات السباث الايسلندي . وقد لفتت هذه التجربة انتباه هويجن Huygens ، ولكنه لم يعرف كيف يقدم عنها التفسير المرضي .

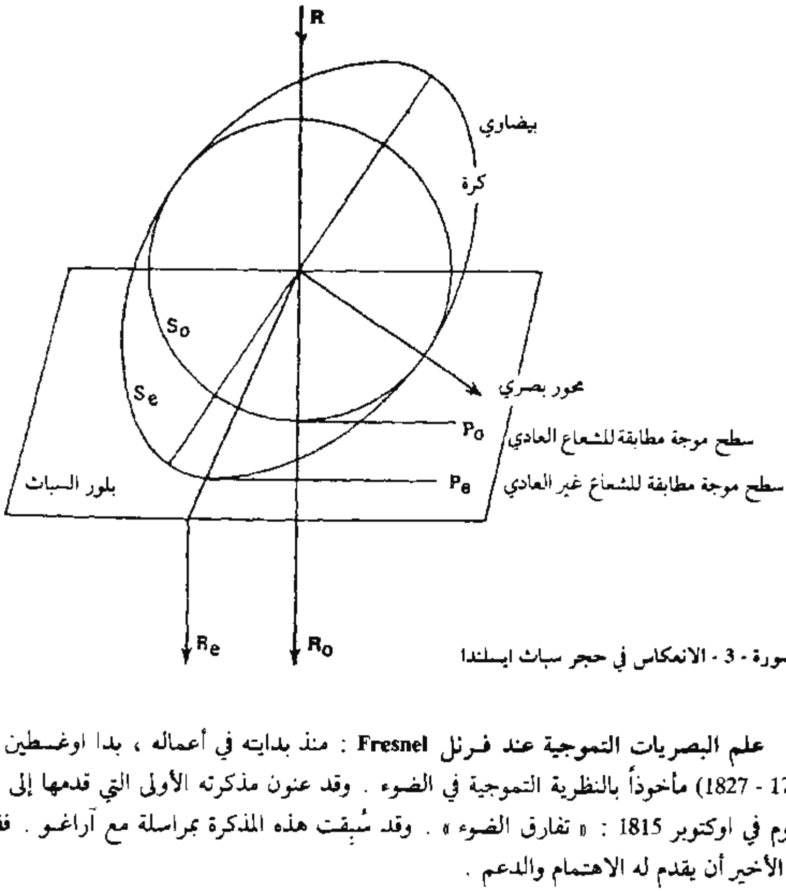


صورة - 2 - تجربة يونغ

ومن جهة اخرى ، وبفضل ظروف مؤاتية ، لاحظ مالوس ظاهرة التكثف عن طريق الانعكاس واتاحت له دراسة مجمل ظاهرات الاوبتيكا الهندسية ، التي سبق أن قام بها ، أن يبين أن الشعاع الضوئي المنعكس بزاوية معينة يعطي فيها بعد مشابهة ملحوظة مع شعاع سبق أن اجْتاز أول حجر سباث وأصابه التلون المزدوج : فكلا الشعاعين لا يمكن أن ينقسم بانكسار مزدوج عندما يجتاز سباثاً جديداً. (حول قضايا البصريات البلورية راجع ايضاً دراسة ج اورسل، الفصل 1 ، القسم 4). وبالعكس من يونغ ، اعلن مالوس بصراحة تتلمذه على نيوتن . وإذاً فقد ذهب ليفتش في ظاهرة التلون المزدوج تفسيراً للنمط الجسيمي : إن الضوء النازل الأولي (أو الضوء الطبيعي) يتكون ، حسب اعتقاده ، من جزيئات لا متوازية متقارنة . إن تجاوز الحجر السباثي أو ايضاً الانعكاس فوق شفرة يعطي لهذه الجسيمات اتجاهاً واحداً . من ذلك يمكن لحقل مغناطيسي أن يؤثر وأن يفعل في قطع مغناطيسية ذات قطبين .

يفترض إذاً أن الضوء مكون من قطب . وبعد الانعكاس ، أو أيضاً بعد المرور في حجر السباث يتكثف .

وإذاً يبدو مالوس وكأنه قد استبعد التفسير التموجي للظاهرات التكثيفية ولظاهرات الانكسار المزدوج . وبذات الحقبة (1811) ، عاد آراغو إلى الدراسة التجريبية للاستقطاب بواسطة بلورات الكوارتز واكتشف التكثيف الكروماتيكي (اللوني) . وبعد ذلك بعدة سنوات ، حوالي سنة 1820 توصل فرنل إلى تقديم تفسير ممتاز للنتائج الحاصلة (صورة رقم 3) .

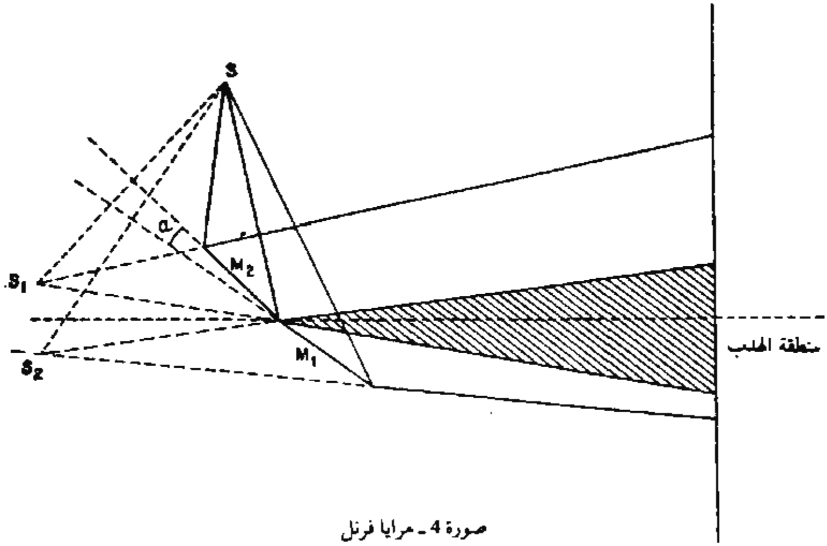


صورة - 3 - الانعكاس في حجر سباث ايسلندا

علم البصريات التموجية عند فرنل Fresnel : منذ بدايته في أعماله ، بدا اوغسطين فرنل (1788 - 1827) مأخوذاً بالنظرية التموجية في الضوء . وقد عنون مذكرته الأولى التي قدمها إلى اكاديمية العلوم في اوكتوبر 1815 : « تفارق الضوء » . وقد سُبِقت هذه المذكرة بمراسلة مع آراغو . فقد أراد هذا الأخير أن يقدم له الاهتمام والدعم .

كتب فرنل « أن النظرية التموجية تساعد بصورة افضل على تفسير المسار المعقد للظاهرات الضوئية ، وعندها يعود للظهور التماثل مع الصوت ، والاعتراض المعتاد القائل بأن الموجات تدور حول الحواجز ، ولهذا اردت دراسة الظلال » .

وفي الواقع تناولت تجاربه الأولى ظاهرات التفارق المحققة بواسطة خيط . ودرس الظلال المحدثة ورصد الهدب وقاس مسافاتها وانتهى إلى القول بوجود توافق شبه تام مع التوقعات المستخرجة من النظرية التموجية . وهكذا توصل إلى نفس استنتاجات يونغ والتي ذكره بها آراغو . فطور نتائجها بشكل منهجي .



صورة 4 ـ مرايا فرنل

إن الموجات الضوئية من شأنها أن تتداخل :

« إن تصالب هذه الأشعة بالذات ، هو الذي يحدث الهدب : ويمكن بسهولة تصور ان ذبذبات الأشعة التي تتلاقى ضمن زاوية صغيرة جداً يمكن أن يعارض بعضها بعضاً عندما تكون عُقَدُ بعض هذه التموجات تتوافق مع بطون التموجات الأخرى » . هذا هو قول فرنـل .

وهو قد اثبت هذه الظاهرات بالذات مستعملاً الأجهـزة ذات المرايـا المسماة « مـرايا فرنـل » وذلك لكي يتفادى الاعتراض على حواشي الشاشة ؛ هذا الاعتراض الذي سبق ووجه إلى يونغ (صـورة رقم 4) . وأخيراً تم له حساب موقع الـهدب الـتي تحيط بظل الجسم غير الكاسر للأشعة . واستنتج بواسون Poisson بعد أن وقعت تحت يده مذكرة فرنـل ، أن مركز الظل في حاجز صغير يجب أن يقدم بقعة ضوئية .

وقام فرنـل ، بعد تنبيهه من قبل آراغو ، باجراء التجربة التي اعطت النتيجة المتوقعة . وبعد ذلك ثبت نجاح المبادىء الأساسية في نظرية الموجات . في سنة 1822 استطاع فـرنل، أن يكتب ما يلي :

« إن نظام البث أو نظام نيوتن المستند إلى اسم صاحبه الكبير، واكاد اقـول المستند إلى شهـرة كتابه الخالد « المبادىء » وما اعطاه هذا الكتاب للمبدأ ، كـان هو النـظام المعتمد ؛ وبـدت النظريـة الأخرى متروكة تماماً عندما قام م ـ يونغ بالتذكير بها في اوساط الفيزيائيين عن طريق تجارب مدهشة تمثل اثباتاً اكيداً ؛ وبدت صعبة التوفيق مع نظام البث » .

إن الاعتراض الرئيـي الذي بقي ، حتى بعد هويجن ، على عاتق النظرية التموجية كان تفسير الانتشار المستقيم للضوء ، وقد أشار هويجن إلى الطريق . ولكن عملية ظاهرات التداخل كانت غـير معروفة تماماً فلم يتمكن من الوصول إلى حل مرض . وهو عندما بين أن الحركة المحدثة

والمنقولة بواسطة موجة كروية تموت جزئياً بفعل التداخل، توصّل إلى الاستنتاج بأن هذه الحركة هي وليدة سلوك جزء من الموجة ـ إن تصورات هويجن قد ادت عندها إلى التبيين الدقيق لاثبات الانتشار المستقيم . وبعدها لم يعدِ من اعتراض جدي ضد نظرية الذبذبات . واستطاع فرنل الاستنتاج بأن : « الضوء ليس إلا نوعاً من أنواع الذبذبة في سائل كوني » .

ورغم مساندة آراغو لم تستطع نجاحات نظرية الذبذبات ، وبسهولة ، اقناع رأي عام مؤمن بالنظريات الجسيمية . وكان لا بد من تجربة دامغة . وعثر عليها ـ أو ظن الناس انهم عثروا عليها ـ وذلك عند المقارنة بين سرعات الضوء في الماء وفي الهواء : تنص نظرية البث على التسريع عند الدخول في وسط اكثر تكسيراً للضوء كما تنص نظرية الذبذبات على تبطيئه . وفي سنة 1838 صرح آراغو أن واحدة من النظريتين يجب أن تسقط أمام الوقائع . وجرب فيزو تفحص التجربة (صورة رقم 5) : لقد كان هناك تباطؤ . « كتب يقول : إن حصيلة هذا العمل تقوم على التصريح بأن نظام البث لا يتوافق مع حقيقة الوقائع » .

قليلة هي الأشياء النهائية في الفيزياء . ولنا عودة على تفسير تجربة فيزو. وعلى العموم إن القرن التاسع عشر ظل يحتفظ بمناصرين ، متأخرين ولكنهم ملحين ، للفرضيات الجسيمية . وكان بيوت اشهر هؤلاء المناصرين . وظل هذا الأخير حتى وفاته التي حصلت سنة 1862 مصراً على تفسير الظاهرات الرئيسية في علم البصريات بعد ادخال التحسينات على نظرية نيوتن وبدا له الانكسار دائماً حصيلة جذب تحدثه الأجسام في ذرات الضوء . ولكي يثبت اقواله درس الانكسار المقارن في مختلف الغازات وقد حاول شرح الظاهرات بواسطة فرضية الأرجحة الدورية في المحاور .

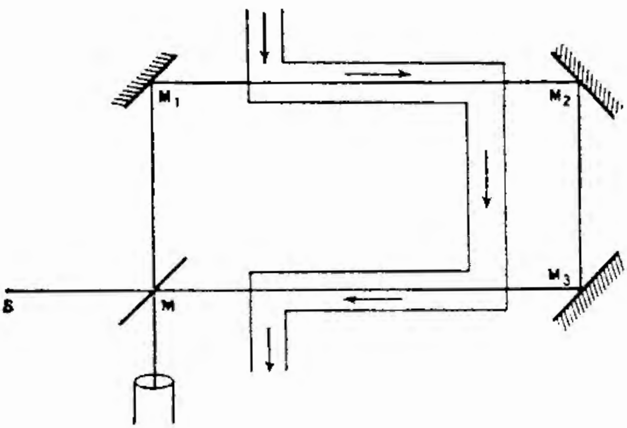
ولكن آراء بيوت شكلت خيطاً رفيعاً ربط النيوتونية المتهاوية بالنظريات الكمّية الفتية الشابة .

شاهد القرن التاسع عشر نمو وتطور مكاسب النظرية الذبذباتية . وانه في مجال التكثيف ، اعطت اعمال فرنل وآراغو النجاحات الكبرى .

لقد سبق واشرنا إلى التجارب الأساسية حول التكثيف التلويني (كروماتيك) ، وحول التكثيف الدائري وإلى منشأ الأعمال الأولى التي قام بها مالوس Malus حول هذا الموضوع : دراسة ظاهرات الانكسار المزدوج . لقد قام هوك ونيوتن ولاستون وبعدهم هويجن بدراسة هذه المسألة . وعلى افتراض ان الضوء يتكون من تموجات اعتراضية ـ وهي فرضية سبق وأشار إليها هوك Hooke ـ فقد بين فرنل امكانية تفسير الانكسار المزدوج في حالة بلورة ذات محور واحد (أي ذات تطابق ترتيبي بالنسبة إلى محور) أو ذات محور مزدوج . وبهذا الشأن تشكل الموجة التي تنتشر في وسط كاسر للأشعة ومتباين الخواص ، عموماً سطحاً من الدرجة الرابعة . وهذا السطح يتحول إلى كرة إذا كان الوسط متجانس الخواص . أما في الأوساط المتباينة الخواص وذات المحور الواحد ، يتحول هذا السطح ويتفكك إلى كرة تتوافق مع الشعاع العادي وإلى اهليلج متعلق بالشعاع غير الاعتيادي .

الاثير عند فرنل : كان فرنل يعتقد في أول الأمر ، بوجود نمطين من الانكسار في حالة كون الذبذبات الضوئية عامودية على سطح التكثف . وقد بين بواسون Poisson أن هذا الافتراض غير

صحيح ، وتوصل فرنل إلى دراسة نمو القوى المطاطة ضمن بلورة ، بحسب توجه الذبذبات الضوئية بالنسبة إلى المحور البصري . وهكذا توصل إلى تطوير نظريه ميكانيكية لذبذبات الأثير . إن وجود هذا « المائع الكوني » الذي يشكل الضوء واحداً من اساليبه في الذبذبة ، يبدو مرتكزاً على نتائج موثوقة إلى درجة مكنت لامي Lamé ان يكتب في سنة 1852 ما يلي :



صورة رقم - 5 - قياس سرعة الضوء في تيار مائي من قبل فيزو

« إن وجود هذا « المائع الأثيري » هو من غير شك ثابت بفضل انتشار الضوء في الفضاءات الكواكبية ، وذلك بفضل التفسير البسيط والكامل لظاهرات الإنشطار في نظرية الموجات » .

ما هو حال مميزات هذا المائع ؟ بإمكاننا أيضاً أن نستعير من لامي صيغة هذه المزايا الرئيسية : « إن حالة هذا المائع الثابتة (ستاتيك) مرهونة بالدفع العكسي الحاصل له وللأعمال الواقعة عليه من قبل الذرات الموجودة . وبفضل هذه القوى ينتشر الأثير بشكل موحد في كل فضاء فارغ من مواد قابلة للوزن ؛ ان ثقله النوعي ثابت ومطاطيته هي ذاتها في كل الاتجاهات » .

وفي علم البصريات الحديث يبدو أن مفهوم الأثير لم يخسر شيئاً من حقيقته الجوهرية . ولكن ، وبالضبط ، في الوقت الذي اكتسب فيه كل اهميته ، بفضل نجاح النظرية الذبذباتية في الضوء ، اخذ الأثير يفقد الخصائص الميكانيكية التي كانت تؤمن له ميزته كمائع حقيقي .

ولكي يشرح فرنل ظاهرات التكثيف كان عليه أن يؤمن بانتشار الذبذبات الاعتراضية . ومن اجل هذا كان عليه أن يعطي للوسط صلابة نظرية لا حدود لها ، وعملياً هي أعلى من صلابة الأمكنة الأكثر مقاومة . وهذه الصلابة قلما تأتلف مع حركة الأجسام السماوية التي لم تتأثر بها على الاطلاق . وهكذا اخذ اثير فرنل يرتدي مزايا غريبة نوعاً ما ، إذ كان عليه أن يوفق بين الصلابة التي لا حد لها وبين مقاومةٍ للحركة شبه معدومة . وقد تم البحث عن استكمال نماذج الاثيرات ولكن النتائج الحاصلة ، خاصة بفضل اعمال بواسون، بدت غير دامغة إلا قليلاً ؛ أما اثيرات النمط الكلفيني

(نسبة إلى كلفين Kelvin : أو الأثير الدواري الثابت) فقلما كان لها فائدة غير اثارة الفضول والحشرية . ومن جهة اخرى ، إن جر الأثر بالأجسام المتحركة لم يكن الا ليثير الاضطراب في نفس فرنل . وبعد تجارب آراغو ، بدت قوانين الانعكاس والانكسار هي ذاتها بالنسبة إلى الأجسام المتحركة وقد افترض فرنل بصورة عفوية أن الاثير مقود بحركة الأرض ، ولكنه لم يعرف كيف يفسر ظاهرة الزيغان الضوئي المكتشف من قبل برادلي Bradley منذ 1728 .

إن رصد النجوم المسماة بالثوابت يقدم مثلاً بارزاً عن هذه الظاهرة ظاهرة الزيغان : اثناء السنة تبدو النجوم الثابتة وكأنها ترسم اهليلجات صغيرة . وتفسر الحركة الظاهرة بسهولة : إن الصورة الحاصلة تنتج عن الوضع الحقيقي وعن حركة الأرض حول الشمس . ونذكر هنا المقارنة الكلاسيكية بالعلم الخافق في اعلى ساري سفينة ، علم يتجه بحسب حصيلة اتجاه الريح وحركة السفينة . في حين أن الزيغان الناتج عن حركة الأرض مستقل عن طبيعة الوسط المخروق بالضوء . ان انكسار الضوء لا يتغير في حركته بالنسبة إلى الأثير ويجب افتراض الانجرار الجزئي الحاصل من الموجات الضوئية داخل الوسط المخروق .

ووافق فرنل على تسوية فكتب إلى آراغو يقول : « لم استطع استيعاب هذه الظاهرة بوضوح ، إلا بعد افتراض أن الأثير ينتقل بحرية عبر الكون ، وأن السرعة المعطاة لهذا السائل اللطيف ليست إلا جزءاً صغيراً من سرعة الأرض » .

وانطلاقاً من فرضية استقلال الزيغانات بالنسبة إلى الوسط المخترق من العيار (n) ، وهو وسط ينتشر الضوء فيه ، حَسَبَ فرنل معامل انجرار الموجات الضوئية . هذه القيمة التي تساوي :

$\alpha = 1 - 1/n^2$ والتي تثبتت مباشرة بفعل تجارب فيزو (1851) ، وهذه القيمة تشكل على ما يبدو حجة ظاهرة لاثبات نظرية فرنل .

هذه النظرية لا تحاول ايضاح خصائص الأثير الا فيما يتعلق بتشوهاته المطاطية وانجراره بالأوساط المخترقة . وكان يكفيه أن يبرر انتشار الموجات الاعتراضية . وتخيل فرنل ارتداداً ممكناً لتغيرات الأثير في مجالات اخرى غير مجالات علم البصريات . وفي رسالة ارسلها إلى أخيه يعود تاريخها إلى 5 تموز 1814 ، يمكن استخلاص هذا المقطع :

« اعترف لك أني ميال جداً إلى الايمان بذبذبات مائع خاص من اجل انتقال الضوء والحرارة . . . وعندها يُرى في اضطراب التوازن ، في هذا مائع ، سبب الظاهرات الكهربائية » .

وعلى كل ، ورغم هذا التخمين تبقى الظاهرات الكهربائية بدون رابط مباشر مع علم البصريات « الاوبتيكا » في نظرية فرنل .

المثنويات الكهربائية والأثير : في حين ارتدى الأثير المزود بالبنية اهمية متزايدة في « الاوبتيكا » اتجه نحو الكهرباء الستاتية ، تحت تأثيركولومب Coulomb ، وأورستد Œrsted ، وبيوت Biot ، وسافارت Savart في اتجاه معارض تماماً .

فقد تثبت كولومب من قانون التأثير المتبادل بين التيارات ، مفترضاً لهذا التأثير المتبادل ، وبصورة

مسبقة ، الشكل الذي يحكم الأعمال النيوتونية المسماة « الأعمال البعيدة » . فالتأثير بين المغناطيس ثم بين التيارات الكهربائية (امبير ، بيوت وسافارت) ، بدا هو أيضاً خاضعاً لقواعد من نفس النمط .

إن اعمال فراداي ، ثم أعمال غوس قد وجهت الكهرمغناطيسية الناشئة في طريق آخر مختلف . وبهذا الشأن لفت فراداي الانتباه إلى الدور المهم الذي تلعبه الأمكنة . فقد اعتبر في بادىء الأمر الأمكنة المادية معروفة تماماً مثل البارافين والإبونيت، الخ . هذه الأمكنة المسماة «عازلة» من شأنها ان تغير الأثر المتبادل للتيارات الكهربائية أو الشحنات التي توضع الأجسام العازلة بينها . واستنتج فراداي أن هذا التغيير يحدثه تغيير في الوسط ذاته . وفي داخل الأجسام العازلة الحيادية في بادىء الأمر ، تتولد تحت تأثير الشحنات الخارجية ، شحنات ذات مؤشرات متعاكسة مرتبطة في كل منطقة أولية من مناطق هذا العازل : ويقال عندئذٍ بتشكل « اقطاب ثنائية » (dipôles) ، وأن الوسط المادّي يصبح بالتالي استقطابياً . وعندها يعمل لحسابه الخاص ، متدخلاً بشكل ناشط في أوالية المفاعيل المتبادلة بين الشحنات .

إن الأوساط تصبح قابلة للتغيير أي مكثفة تحت تأثير المصادر الخارجية ثم تعمل بدورها في تفاعل الشحنات وتسمى عندئذٍ ثنائية الكهرباء (دي الكتريك) .

ومن أجل الاختصار وتوضيح عمل هذه الثنائيات الكهربائية ، عمل فراداي على توضيح اتجاه وزخم القوى التي تتدخل في كل نقطة من نقاط المكان : وهكذا اعتبر وجود خطوط قوة من شأنها أن تنقل ، انطلاقاً من جسيم مشحون ، الأثر المعتبر إلى جسيم آخر عبر ما يسمى « بالمثنى الكهربائي » ، ويقاس زخم هذا العمل بكثافة خطوط القوة ، أي بعدد خطوط القوة التي تقطع وحدة السطح « المثنوي الكهرباء » ، عامودياً على اتجاه هذه الخطوط . وعزا فراداي إلى هذه الخطوط أو انابيب القوة معنىً فيزيائياً حمله على اعطائها وصفاً محدداً تماماً . إن الفراغ يمكن تصوره هو أيضاً وكأنه مثنى كهربائي خاص تقطعه خطوط القوة هذه : ويصبح الأثير عندها ، مثل المثنيات وسطاً مادياً . أنه مثنوي كهربائي خاص ، أو بمعنى آخر أنه حدُّ مفهوم المثنوي الكهربائي .

الحقول الكهربائية والتكهرب : نوجه انتباهنا الآن لا إلى دعامة العمل أو الأثر ، اثيراً كان أم مثنوياً بل نوجهه إلى هذا الأثر بالذات .

إن الأثر الذاتي الذي يتولد بين الحقول الكهربائية أو بين الكتل المغناطيسية (المفترضة) يشكل « الحقل الكهربائي » . وبالمعنى الأعم ، يشكل الحقل المجال الذي يمكن أن يظهر فيه أيَ مفعول أو أثر . إنه هذا المجال الموزون والمراقب ، إن أمكن القول ، بفعل زخم خطوط القوة . إنه حَقْلُ قِوَى ؛ معطاه يمكِنُ من التعرفِ ، في كل نقطة ، ليس فقط على العمل الذي يَحْدُثُ فعلاً ، بل أيضاً على العمل الذي يمكن أن يَحْدُث .

نحن نعرف من جهة اخرى أن المثنوي الكهربائي (أو المجال المغناطيسي) يمكن أن يغير هذا الأثر : فهو حين يتكثف يعمل لذاته أي لحسابه الخاص فيحدث مفعولاً ذاتياً ـ إن أمكن القول ـ مساهماً بشكل فج في الحقل : إن الأثر الشامل الذي يحسب حساباً لتدخل المثنوي يسمى التكهرب .

واهمية تحول الحقل (المتعلق بالأثير) إلى تكهرب (متعلق بالمثنوي الكهربائي) يقيس ، بشكل من الأشكال القوة النسبية (نسبة إلى الأثير) في الوسط المادي : وهذه هي القوة المغناطيسية الذاتية (أو، إذا تعلق الأمر بالتأثيرات المغناطيسية ، هي الشفافية المغناطيسية) . ويفترض على العموم - في نظام الرجوع الخاص المرتبط بالمادة المتحركة تحركاً بطيئاً ومتسقاً بالنسبة إلى الأثير (نظام ذاتي) - يفترض وجود تناسب بين الحقل والحث .

وتحصل عندنا معادلات من النوع التالي : $(\vec{D} = \epsilon\vec{E})$ حيث تمثل $\vec{D}$ الكهرباء و ϵ القوة في المثنوي و $\vec{E}$ الحقل المكهرب و $\vec{H}$ $\vec{B} = \mu$ حيث $\vec{B}$ هو الحث الكهربائي و μ هو قوة المكان المغناطيسي و $\vec{H}$ هو الحقل المغناطيسي .

وبذات الحقبة تقريباً توصل بواسون إلى تحديد قوانين انتشار المفعول الكهربائي أو المغناطيسي في وسط يعرض توزيعاً مشتركاً للشحنة . من اجل هذا اقترح نظام معادلات ، من حلوله القريبة الحقل المغناطيسي المرموز إليه بـ $(1/r^2)$ والذي يتدخل في قانون كولومب : إن الآثار الكهربائية المسماة بعيدة المدى تبدو حالة خاصة تتيح أستباق النظرية الدقيقة حول الأمكنة أو الأوساط المستمرة .

جامس كلرك مكسويل James Clerk Maxwell : النظرية الكهرومغناطيسية في الضوء : إن نظرية المثنويات الكهربائية لا تتعلق مباشرة بنظرية فرنل . ولكنها تمهد الطريق من أجل توليف بدا قريباً . في سنة 1827 كتب كورنو Cournot موضحاً ما يلي : إن النظرية البصرية التي وضعها فرنل ليس لها ادنى علاقة بنظرية الحرارة عند فوريه Fourier ولا بنظرية كولومب أو بواسون ، ولا بنظرية امبير . وأهم غاية في الفيزياء المعاصرة هي بيان ان كل هذه الظاهرات البصرية والحرارية والكهربائية والمغناطيسية ، لها في ما بينها وحدة عميقة » .

وإلى مكسويل (1831 - 1879) يعود الفضل في تحقيق هذا التوليف . في بداية اعماله ، كانت قوانين الكهردیناميكا مقبولة حتى ذلك الحين وموفية بالغرض . ، أي أنها كانت تشرح كل الوقائع المعروفة . إلا أن مكسويل اكمل هذه القوانين بعبارة هي من الناحية التجريبية محض عفوية تحكمية ، لأنها كانت أقلّ من أن تدحض أو تثبت بالتجربة .

كتب بوانكاريه Poincaré يقول : « كان مكسويل متشبعاً باحساس التقابل الرياضي . فهل كان يمكن أن يكون كذلك لو أن آخرين قبله لم يبحثوا عن هذا التطابق من أجل جماله الذاتي ؟ ذلك أن مكسويل قد تعود التفكير بواسطة الخط المستقيم (الأسهم Vecteur) وإذا كانت الأسهم قد دخلت في التحليل ، فذلك قد حصل بفضل نظرية التصورات أو التخيلات . والأشخاص الذين اخترعوا التخيلات قلما شككوا بالجدوى التي يمكن استخلاصها منها من اجل دراسة عالم الواقع . ويكفي الأسم الذي اطلق عليها لاثبات ذلك بما فيه الكفاية » .

وبدأ مكسويل يرد كل ظاهرات الكهرومغناطيسية إلى مفاعيل ديناميكية خالصة . وكما فعل فراداي Faraday استبدل المفعول البعيد المدى بتفسيرات مرتكزة على الحركة وعلى خصائص سائل

مفترض . وكان لهذا الأثير الكهرمغناطيسي حالة ميكانيكية ، أي طاقة ، وتوترات ، وكميات من الحركات يمكن أن تعبر عن نفسها تبعاً للحقول الكهربائية والمغناطيسية . ونتج عن ذلك أن الفراغ مختلف تماماً عن « الاطار الذي لا شكل » له وبدا كذلك أيضاً أن تصور الأثير كمادة متموجة ، هو تصور يجب التخلي عنه . إن الفضل الأساسي الذي يعود إلى مكسويل هو أنه ربط هذا الأثير المسؤول عن الأعمال الكهرمغناطيسية بأثير فرنل .

كتب مكسويل يقول : « إن تعبئة الفضاء بوسط جديد في كل مرة يتوجب فيها تفسير ظاهرة جديدة لا يمكن أن تشكل وسيلة عقلانية . بالعكس ، وإذا تم التوصل عن طريق فرعين مستقلين من فروع العلم إلى فرضية وجود وسط ، فإن الخصائص ، التي يجب اسنادها إلى هذا الوسط من أجل توضيح ظاهرات كهرمغناطيسية ، هي من ذات الطبيعة التي يجب اسنادها إلى الأثير الضوئي من أجل تفسير ظاهرات الضوء ، عندها تكون حججنا الفيزيائية بالايمان بوجود مثل هذا الوسط قد ثبتت » .

وإذن لم يعد الأثير فقط وسطاً حيادياً يؤمن نقل الحركات . إنه ركيزة طاقة . يمكنها اختزان هذه الطاقة بشكل كامن ، كما يحدث في حالة الكهرباء الستاتية ، وبشكل حركي تظهره ، مثلاً ، تيارات التنقل داخل المثنويات الكهربائية .

هذان الأثران ، أو هذان الحقلان ، غير مستقلين . فالحقل لا يتوجد وحيداً إلا إذا كان غير متغير . فالتغير في أحدهما يجر وراءه وجود الآخر . وحركة مطلق شحنة ، مثلاً ، تحدث حقلاً كهربائياً وحقلاً مغناطيسياً عاموديين احدهما على الآخر ، وعلى حركة الانتشار . ووضع مكسويل القانون الذي يربط هذين الحقلين كما وضع القانون الذي يعطي قيمة تيار الانتقال . فإذا كانت النظرية صحيحة ، فإن العلاقة بين الوحدات الكهرمغناطيسية في التيار ، وبين الوحدات الكهرستاتية ، يجب أن تكون مساوية لسرعة زيغان كهرمغناطيسي في الفراغ ، وبخاصة ، مساوية لسرعة الضوء .

ولكن قياس هذه العلاقة وبالتالي هذه السرعة كان ممكن التحقيق . وتم تحقيقه فعلاً من قبل و. ويبر W.Weber و. ر. كوهل روش R. Kohlrausch سنة1855 . وأتاح الالكترومتر تقييم الشحنة في مكثف عن طريق الوحدات الالكتروستاتية ، في حين قاس الكالفانومتر القاذف نفس الكمية بالوحدات الكهرومغناطيسية . والعلاقة بين هذه القياسات ، أي سرعة الزيغان أصبحت معروفة بدقة . ومنذ 1849 حقق فيزو تحديداً دقيقاً لسرعة الضوء : وكانت القيمة الحاصلة مساوية تماماً للعدد الذي يقيس علاقة الشحنات المقيمة وفقاً لنظامي الوحدات . وعن طريق المقارنة بين النتيجتين المرقمتين ، استطاع ماكسويل استخلاص تماهي الذبذبات الضوئية والكهرمغناطيسية . وتذكر هذه النتيجة بالمقارنة الحذرة الواعية بين الجاذبية الأرضية والجذب الكوني . وليس فقط لأنهما يخضعان لنفس القانون الشكلي استطاع نيوتن الاعتقاد بتماهيهما ، بل لأن حساب القوتين (الجاذبية والجذب) ومفاعيلهما يؤدي إلى نتائج متماثلة للغاية .

وهكذا كان حال نظرية مكسويل . ولكن تماهي الضوء مع الظاهرات الكهرمغناطيسية يجب اثباته بشكل اكثر وضوحاً ـ وعاد هزيك، هرتز H.Hertz (1857 - 1894) إلى تجارب فيدرسن Feddersen فتوصل سنة 1885إلى انتاج موجات طولها متر . وهذه الموجات تتميز بالظاهرات المعروفة

تماماً وهي ظاهرات الانعكاس والانكسار وسرعتها متساوية مع سرعة الضوء . وانتاج الموجات العالية القصر تهم مجالاً أخذ يقترب بصورة تدريجية من تحت الأحمر . وفي الوقت الحاضر تلتقي هذه المجالات، وبعد. ذلك ومهما كان التفسير المقدم أو المعمول به يبقى الضوء داخلاً في مجال الموجات الكهرمغناطيسية .

العلاقة بين الحقل أو المجال ومصادره . النظرية الميكروسكوبية التي قال بها. هـ.آ. لورنتز : ومع ذلك لم تقدم لنا أعمال مكسويل ايضاحات كاملة حول ولادة الظاهرات الكهرمغناطيسية بواسطة العمل الميكانيكي الخالص .

كتب ب .لانجفين P. Langevin يقول : « إنها (أي اعمال مكسويل) لا تقدم لنا معلومات عن الرابط الذي يوحد بين المادة والأثير ، وهذا الجهل عنده أساسي . في حالة الموجات الهرتزية والضوئية ، نحن نجهل لماذا تنتشر بشكل آخر في الأوساط المادية ، تختلف عن انتشارها في الفراغ ، ولماذا تشتتها المادة . كما أننا نجهل بشكل خاص وتماماً كيف أن المادة ضرورية لإنتاج ولتدمير هذه الموجات . وماذا يحدث لها عند ولادتها وعند موتها » .

ومن جهة أخرى ادخل تركيب مكسويل في قلب وصميم الاوبتيكا صعوبة لم تختلف تماماً بعد ذلك عن الظاهرات الكهربائية . ولكن منذ هلمولتز Helmholtz وفراداي ساد الاعتقاد أن الكهرباء ذات بنية متقطعة .

وقد جرت محاولة من اجل تفسير استمرارية وتتابع الحقل الكهرمغناطيسي عن طريق حركة الشحنات الخفيفة الموجبة حول شحنات اكثر ثقلاً . وذلك على أساس مبدأ نظرية و. ويبر الذي اعاد الشباب إلى أفكار امبير، وذلك حين شبه الحبيبات (Molécules) بالكهرمغناطيسيات المصغرة (1871) .

وقد أتاحت نظرية لورنتز في سنة 1895 تغيير إشارة شحنات ويبر : انها الكترونات سلبية تدور حول بؤر أو مراكز . فضلاً عن ذلك وفي الموصلات تدور الكترونات حرة يولِّدُ تَنَقُلها الموجهُ التيارات . وأخيراً إن الالكترونات التي تدور حول موكز اشعاع إلى حد لا نهاية له تولد موجة اعتراضية كهرمغناطيسية .

« ويضيف ب .لانجفين إن منشأ الاشعاع الكهرمغناطيسي يكمن في الألكترون الخاضع للتسريع : وبواسطة هذا الالكترون تعمل الطبيعة كمصدر لموجات هرتزية أو ضوئية . وكل تسريع ، وكل تغيير يحدث في حالة الحركة ضمن نظام الكترونات يُترجم ببث موجات . إن صفة الموجة المبثوثة تتغير بحسب ما إذا كان التسريع فجائياً أو منقطعاً أو دورياً » .

ومن الناحية العملية وفّق لورنتز نظريته مع نظرية مكسويل وذلك عندما افترض أن الألكترونات ليست تنقيطية وأنه من الممكن تعريف « هيكلية » للمصادر وكذلك عندما افترض وجود ثقل نوعي كهربائي داخل الألكترون . هذه الكثافة (P) والسرعة ($\vec{\vartheta}$) في الألكترونات تشكّلان حدوداً تكمل معادلات شبيهة بمعادلات مكسويل من حيث شكلها ، ولكنها متعلقة بحقول كهربائية ومغناطيسية وميكروسكوبية أي مرتبطة بجزيئة مشحونة . وإذا نظرنا إلى عدد كبير من الشحنات ، فإن المعادلات

الميكروسكوبية عند لورنتز تُعطي بصورة اوتوماتيكية المعادلات الماكروسكوبية عند مكسويل . ولكن يجب أن لا يغيب عن نظرنا أنه رغم تشابه البنية فإن معادلات مكسويل ومعادلات لورنتز تصدر عن تأملات مختلفة جداً . إن معادلات مكسويل المستوحاة مباشرة من النتائج التجريبية التي قام بها فراداي لا تهدف إلاّ إلى توضيح الظاهرات الاحصائية حيث يتدخل عدد كبير من الشحنات . أما المعادلات التي وضعها لورنتز فتشكل استقراءً ذكياً لصحة معادلات مكسويل من أجل وصف السلوك الذاتي والجسيمي للشحنات . وهذا الاستقراء مستند إلى نجاحات ملحوظة : تفسير التوصيلية في المعادن ، والتنبؤ بموجة التسارع المحدثة بفعل ذبذبات سرعة الشحنات ، وبنظرية تشتت الضوء ، ونظرية مفعول زيمان Zeeman العادي[1] .

ليست نظرية مكسويل - لورنتز نظرية كمية لأن الحقل الكهرمغناطيسي يبقى فيها مستمراً في جوهره . إلا أن التقطيع يظهر في المصدر وفي النهاية . يقول ي . بيكارد E.Picard : « في اثير مكسويل والالكترونات التي تتحرك فيه تتراكم نظريات البث والتموج بنوع من الأنواع . وليس هذا إلا بداية ثنائية سوف تبرز اكثر فاكثر » .

ويمكن في هذا الشأن التساؤل هل أن الحقل الكهرمغناطيسي ومصادره هي كيانات متماثلة اجمالاً (نظريات غير ثنائية) أو أنها ذات طبائع مختلفة بشكل جذري (نظريات ثنائية)

وإذا استبدلنا فكرة المصادر النقاطية بفكرة المصادر الممتدة ، نصل إلى إحلال البنية الكروية والجامدة التي هي من خيال ووحي النظريات الأولى التي وضعها ابراهام Abraham وبوشيرر Bucherer بواسطة هيكلية قابلة للتشويه . ووفقاً لرأي هـ . آ . لورنتز أن كل جزئية مشحونة، كمصدر لحقل كهرمغناطيسي ، تتلقى تقلصاً في اتجاه حركتها .

ومن جهة اخرى ، يمكن عزو نشأة كهرمغناطيسية خالصة لكل كتلة في كل جزئية : أي أن معامل الكتلة المرتبط في كل مصدر من المصادر يمكن أن يعبر عنه تبعاً للمقادير التي تميز الحقل .

إن الكتلة m_0 ، من الكترون مفترض أنه جامد يمكن أن يعبر عنه تبعاً للشحنة q والشعاع r_0 لهذا الالكترون .

$$m_0 = \frac{2}{3}\frac{q^2}{r_0 c^2}$$

يمكن أن نقيس $m_0 \simeq 0,90.10^{-27}$ g .إذا عرفنا (r_0) فيمكن أن نعرف إذاً أي جزء من الكتلة هو من مصدر كهرمغناطيسي ، ولما كان الأمر بخلاف ذلك يمكن فقط استخراج - من فرضية لورنتز - شعاع المنطقة الفريدة ، التي تمثل الكتروناً كل كتلته هي منشأ كهرمغناطيسي وهكذا نجد : $r_0 = 1,9.10^{-13}$ cm .

---

(1) عندما وضع لورنتز نظريته قرر انها تتيح التنبؤ بتغير وتيرة الذبذبات المبثوثة من قبل مصدر ، وذلك عندما يكون هذا المصدر موضوعاً في حقل مغناطيس ذي زخم كافٍ ، ان الحقيقة التجريبية لهذه الظاهرة (المسماة مفعول زيمن Zeeman) قد بُينت في سنة 1896 من قبل الفيزيائي الهولندي بيتر زيمن Peter Zeeman (1865 - 1943) تلميذ لورنتز . وهذا التحقيق الدقيق جداً والذي يقدم اثباتاً اكيداً لنظرية لورنتز ، قد استعيد بعد ذلك بقليل من قبل الفيزيائي الفرنسي ايمي كوتون Aimé Cotton .

وقد استطاع لورنتز أن يبين أنه إذا اعطى لكتلة المصادر نشأة كهرمغناطيسية ، يحدث تغير في هذه الكتلة بحسب السرعة .

إن الجسيم ذا السرعة الثابتة ϑ له كتلة كهرمغناطيسية متغيرة m بحيث تكون :

$$m = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \left(\beta = \frac{v}{c}\right)$$

وقد ثبتت هذه الفرضية بشكل باهر بفضل تجارب غويي Guye ولافانشي Lavanchy ويستنتج من ذلك أن كل كتلة الجسيم هي من مصدر كهرمغناطيسي . في تلك الحقبة كان يظن أن الكتلة الكهرمغناطيسية وحدها تستطيع التغير تبعاً للسرعة مع بقاء الكتلة الميكانيكية غير متغيرة . وبدت تجارب غويي ولافانشي أنها تثبت أولوية الحقل ، وهو حقل ميكروسكوبي وكيان اساسي تستخرج منه ، إلى حدٍ بعيد ، مميزات المصادر .

من الأثير الميكانيكي عند فرنل إلى اثير لورنتز : إن التركيب المكسويلي يماهي اثير فرنل والأثير الكهرمغناطيسي . وعلى كل حرص مكسويل أن لا يشدد على هيكلية هذه الركيزة وبقيت خصائصها الغريبة متروكة في الظل . وحده انجرار هذه البنية جزئياً بالمادة المتحركة ، وهو انجرار تثبته التجربة ، اعطى للمادة سرعة تساوي αv ، باعتبار أن α تساوي معامل الانجرار المنصوص عليه في نظرية فرسنل . هذه الخصوصية الأساسية ليست محفوظة لا في نظرية ستوكس Stokes وهرتز ولا بالنظرية الميكروسكوبية التي قال بها هـ . آ . لورنتز .

وكان ستوكس قد افترض انجراراً كاملاً للأثير الضوئي (أو بصورة أولى المضاء) بالمادة المتحركة ، وهذه الفرضية عممها هرتز ليطبقها على الأثير الكهرمغناطيسي ، وتصطدم هذه الفرضية باعتراضات مبدئية ضخمة خصوصاً عندما يتوجب توضيح اسلوب انتقال الضوء من الأثير الكواكبي الجامد الى الأثير الأرضي المتحرك . فضلاً عن ذلك تتناقض هذه الفرضية مع التجارب المحققة في مجال الكهرباء الديناميكية للمكهربات الثنائية المتحركة .

إن تنقل الجسم العازل ضمن حقل كهربائي (رونتجن Röntgen 1885 ؛ وأيخنولد Eichenwald 1903) أو في حقل مغناطيسي (ولسون Wilson 1904) يدل على أن كل شيء يجري كما لو أن الحقل الماكروسكوبي $\vec{E}$ ـ بسبب الحركة ـ يجب أن يستبدل بحقل $\vec{E} = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)\vec{E}$ (باعتبار ε = ثابتة مكهربة ثنائية) وباعتبار ان $\vec{E}$ مجرور بصورة جزئية . وهذا الاستنتاج يتعارض مع فرضية الانجرار الكامل الذي تخيله هرتز Hertz .

وتبدو هذه النتيجة متعارضة مع الفرضية القائلة بأثير جامد تماماً ولكنها تتوافق ، مقابل ذلك مع الشروط الأساسية التي يطلبها فرنل .

ومع ذلك ففكرة الأثير الجامد كانت في اساس النظرية الميكروسكوبية عند لورنتز . ويبدو لأول وهلة غريباً نوعاً ما بالنسبة إلى فكر غير مطلع ان تستطيع فرضية لورنتز المختلفة جداً عن نظرية فرنل ، التوصل إلى نتائج مماثلة . ولكن في الواقع لا تتصل هذه الفرضيات بنفس السلم

فعل الصعيد الميكروسكوبي الذي هو أساس نظرية لورنتز يعتبر الأثير والحقل الميكروسكوبي $(\vec{e}, \vec{h})$ الذي يحمله جامدين تماماً . ولكن داخل الأجسام الكهربائية الثنائية (دي الكتريك) يوجد اقطاب مزدوجة تخلق تكثيفاً $\vec{P}$ في الثنائي ـ الكهربائي ، وهو تكثيف مجرور بكامله بحركة هذا الثنائي .

إن الحث المكرسكوبي $\vec{D}$ هو كمية احصائية تنتج عن المجمل $\vec{E}$ المتكوّن من الحقول الميكروسكوبية وعن التكثيف $\vec{P}$: $\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{P} = \varepsilon\vec{E}$.

كل شيء يحدث عندئذٍ ، وذلك بسبب جمود الحقل $\vec{E}$ وبسبب الانجرار الكامل للتكثيف $\vec{P}$ ، كما أن الحث $\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$ يتلقى انجراراً جزئياً . وكل شيء يعود ـ بشكل احصائي ـ إلى استبدال الحقل $\vec{E}$ بحقلٍ آخر $\vec{E}' = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)\vec{E}$. ولكن ، وبشأن غالبية الأوساط الشفافة ذات الشفافية المغناطيسية μ المجاورة للوحدة نحصل على :
$\varepsilon = \varepsilon\mu = n^2$ إذا كانت $\mu = 1$.

ونجد إذاً ، وبواسطة فرضية لورنتز ،النتائج الماكروسكوبية عند فرنل ونتائج التجارب المحققة حول الدي الكتريكات المتحركة . ولكن هذه النتائج تشكل مظهراً شاملاً : على المستوى الدقيق لا يوجد إلا اثير جامد وأقطاب مزدوجة مجرورة .

الأثير غير القابل للرصد ، والأساسي : نلاحظ بالتالي أن البحوث المتعلقة بالأثير تكثفت في آخر القرن التاسع عشر حول النقطة التالية : دونما تعرض للسمات الخاصة التي قد تبدو مضلّلة ولكنها إلى حد ما عفوية يبدو من المعقول التوقع أن تظهر التجربة اكثر خصائص الأثير بروزاً : وهي خاصية تكوين وسط مادي فيه تغطس الأجسام المتحركة والتي تنسجم حركيتها مع المبادىء الكلاسيكية . ثم إن حركات الأجسام المادية يجب أن تحدث مفاعيل لـ « ريح الأثير » وهي مفاعيل تزداد حركتها بمقدار ما تتحرك الأجسام بسرعة اكبر . وإذا تعلق الأمر بحركات مستقيمة وموحدة الشكل بسرعة ϑ ، يقال أن مفاعيل هواء الأثير هي من الدرجة الأولى إذا دخلت فيها حدود $\beta = \vartheta / c$ وتكون من الدرجة الثانية إذا برزت فيها حدود $\beta^2 = v^2/c^2$ الخ .

المفاعيل من الدرجة الأولى : إن المفاعيل من الدرجة الأولى المكتشفة بالتجربة تنتج عن ظاهرات انجرار الأثير وعن الموجات التي تنتشر فيه بفعل الأجسام الشفافة . إن التجارب المحققة في هذا المجال المهم كانت عديدة جداً : فقد حصل آراغو منذ 1818 ثم بعده بكثير ، فيزو Fizeau وهويك Hoek ومسكارت Mascart وميكلسون وأخيراً زيمان Zeeman على نتائج سلبية دائماً .

إن التجربة الأولى من هذا النوع وهي تجربة آراغو استخدمت انكسار الضوء خلال نظام من العدسات . من المعلوم أن فرنل في نفس السنة فسر النتائج السلبية لهذه التجربة بفرضية الانجرار الجزئي . ولكن عند مناقشة احدى هذه النتائج يمكن اثبات أن قاعدة الانجرار الجزئي ،مع القيمة المرتقبة من قبل فرنل تدمر بصورة مسبقة كل أمل بالتثبت من أثر من الدرجة الأولى (أي من حد : $\beta = v/c$) .

في سنة 1874 فقط استطاع كل من مسكارت وفلتمان ثم بوتيهْ أن يثبتوا عمومية هذا الاستنتاج الذي لا يرتكز بالطبع إلا على الملاحظة المحتملة لمفاعيل الدرجة الأولى . مع ذلك ، ومنذ ذلك الحين اقترح مسكارت أنه ، في مجال البصريات كما في مجال الحركية ، من المحال تميزُ نظام مرجع غاليلي تُميز بواسطة تجربة عادية .

المفاعيل من الدرجة الثانية : يبدو إذاً أن الأثير يمكن أن يستخلص من التخلي عن القول بالعدمية طالما أن الأمر يتعلق بالمفاعيل من الدرجة الأولى فقط . ويكفي من اجل هذا اعتماد فرضية الانجرار الجزئي ، واكثر من ذلك أيضاً إذا تعلق الأمر بنظرية ميكروسكوبية . افتراض وجود اثير غير متحرك ، و« ثُنائياتِ الأقطاب » مجرورة .

وبعد النظرية التي قدمها لورنتز بدا الأمل بالعثور على ريح الأثير ، كامناً في امكانية المفاعيل من الدرجة الثانية .

وكانت المحاولات الأولى المحققة عن المفاعيل من الدرجة الثانية ، هي التجارب الشهيرة التي اجراها ميكلسون Michelson سنة 1881 ثم ميكلسون ومورلي سنة 1887 .

وهي تقوم على دراسة انتشار شعاعين ضوئيين منبثقين من نفس الحزمة المقسومة عند النقطة (M) بواسطة شفرة نصف عاكسة (صورة رقم 6)

ويقطع الأول من هذين الشعاعين الذراع (L_1) من الجهاز الموجه نحو اتجاه حركة الأرض بالنسبة إلى الأثير . اما الشعاع الثاني فيتحرك وفقاً للذراع (L_2) ، عامودياً على الأول . ويستخلص فرق زمن الاجتياز بتغيير نظام هدب التداخل . ولكن فرق مسارات الأشعة يحدثه حتماً انجرار الأثير ، انجرار يعزى إلى حركة الأرض على مدارها . وتجتاز الأرض مسافة 30 كلم بالثانية . وحركتها مستقيمة بشكل محسوس وواحدة خلال فترة زمنية قصيرة . هذه الحركة يعبر بالتالي عنها بالمعادلة التالية :

$$\beta = \frac{v}{c} = \frac{30}{300\,000} = 10^{-4}; \quad \beta^2 = 10^{-8}$$

إن الدقة في القياسات كانت كافية إلى حد بعيد لبروز مثل هذا المفعول . ولكن النتائج كانت سلبية بشكل كامل[1] . ومن اجل انقاذ فرضية وجود اثير متوافق مع هذه النتائج المدهشة الحركية ، قام كل من فيتز جيرالد Fitzgeraldسنة 1893 ولورنتز سنة 1903 بافتراض وجود مفعول اضافي : هو تقلص الأطوال في اتجاه الحركة.وبافتراض أن كل الأجسام (وبخاصة الذراع (L_1) في الانترفيرومتر) تحرَّك بحركة مستقيمة ومتسقة تتلقى تقلصاً مقداره $\sqrt{1-\beta^2}$ في اتجاه حركتها ، عندها يمكن تفسير النتيجة السلبية لتجربة ميكلسون. وعلى كلٍ كان من الطبيعي الظن أن هذا التقلص كان بدوره ظاهرة قابلة للقياس . وقد امكن بالتالي تصور تجارب بقصد اثباتها بشكل منهجي . ولكن المحاولات المتنوعة التي

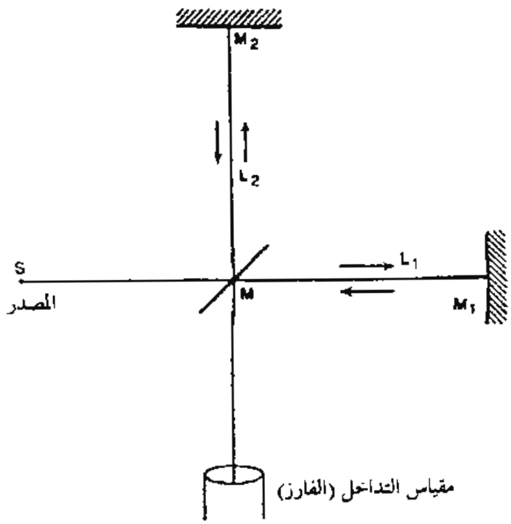
(1) ان التجربة ، المحسنة بفضل كندي سنة 1926 وبفضل Illingworth سنة 1927 وبفضل بيكار وستاهل سنة 1920 وبفضل جوس سنة 1930 قد أدت أيضاً الى نتائج سلبية . وكذلك البدائل التي تخيلها تروتن ونوبل سنة 1903 وتروتن ورانكين سنة 1908 وشاز Chase وتوماشك Tomaschek سنة 1927 ، لم تتوصل الى اكتشاف هواء اثير .

قام بها رايلي Rayleigh سنة 1902 وبراس Brace سنة 1904وتروتون ورانكين سنة 1908 وورد Wood سنة 1937 مع توملينسون Tomlinson وايسن Essen استمرت تعطي نتائج سلبية .

وكان من الواجب عندئذٍ الظن أن هذه التجارب كانت نوعاً ما مصممة بشكل منهجي . إن وجود هواء أثير كان مغطى بظاهرة أولى هو التقلص الذي كان بدوره مغطى بظاهرة ثانية هي تغير الكتلة بواسطة السرعة .

لو فرضنا أن m_0 هو الكتلة المستقرة لجسم ما ، فان الحركة المستقيمة والمنسقة تعطيه كتلة مقدارها : $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$

وبفضل سلسلة من الظاهرات الطفيلية المتدرجة والتي تبدو كسلسلة من الظروف البائسة ، كان الأثير يعتبر غير موجود .



صورة 6 ـ تجربة ميكلسون .

ولكن تغير الكتلة بواسطة السرعة كان مرتقباً بالنظرية الميكروسكوبية التي وضعها لورنتز : إن الالكترونات ، وهي مصادر الحقل ، تمتلك بنية قابلة للتغير في شكلها كما تمتلك كتلة كهرمغناطيسية بحسب الصيغة السابقة . والتثبت من تغير الكتلة بتغير السرعة المحققة من خلال تجارب لافانشي بدا وكأنه يثبت وجود فرضية المنشأ الكهرمغناطيسي للكتلة ، أي يثبت أولية مفهوم الحقل . وهذا التثبت ايضاً بدا وكأنه يظهر تدخل هذا الأثر الطفيلي الذي يمنع اطلاقاً امكانية التثبت من هواء الأثير مهما كان تدرج التقريب المنتقى أو المختار .

وهكذا خصصت وكرست نظرية لورنتز عند نهايتها وجود وتفوق اثير جامد هو دعامة الحقل ، ولكن بذات الوقت اثبتت هذه النظرية الاستحالة المطلقة ـ لا من حيث الواقع ، بل من حيث القانون ـ في اثبات وجود هذا الأثير بواسطة تجربة فيزيائية عادية .

الفصل الثالث

السمعيات

منذ البداية ، وبخلال النصف الأول من هذا القرن ذي الأهمية البالغة في مجال تطوير العلم الفيزيائي الرياضي اقترنت اسماء العظام في الرياضيات امثال لاغرانج Lagrange ، ولابلاس Laplace وبواسون Poisson وغوس Gauss وكوشي Cauchy ، ببحوث نظرية حول الظاهرات الذبذباتية والتموجية احتل فيها الصوت مركزاً مهماً اكيداً .

ويمكن الظن إذاً أن تاريخ السمعيات في القرن التاسع عشر ينقسم بسهولة بين فرع نظري وفرع تجريبي . والواقع أن هذا الفرع الأخير هو الذي يشكل ، في حقيقة الواقع العلم الحق في الصوتيات . أما البحوث الكثيرة النظرية فقد بقيت في طي النسيان.ولكن المجربين كانوا ينهلون من بحوث العلماء الرياضيين افكاراً وإيحاءات ، بحيث يبدو من الواجب هنا اعطاء مكان لما يسمى بالسمعيات النظرية ، موضحين أن ما يستحق الذكر والايضاح هي العناصر التي استخدمت كدليل في نظر الفيزيائيين .

I - السمعيات النظرية

تحليل الأصوات : ركزت البحوث التي قام بها فورييه Fourier سنة 1822 حول الحرارة ، الاهتمام على السلاسل التريغونومترية الشهيرة ، بعد أن أدرك أوهم Ohm جدواها في التفسير الرياضي للظاهرة الصوتية . إن المعادلة « الجيبوية » البسيطة التي اعطت لاستطالة (y) الذبذبة (تبعاً للاتساع (A) وللفترة الزمنية T) المعادلة التالية : $y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T}\right)t$

قد اخلت المكان امام معادلة رياضية اكثر عمومية هي :

$$y = A_1 \sin \frac{2\pi}{T}(t - t_1) + A_2 \sin \frac{4\pi}{T}(t - t_2) + A_3 \sin \frac{6\pi}{T}(t - t_3) + \ldots$$

بحيث أن كل صوت يبدو قابلاً للتحليل بشكل فريد ومحدد جداً ، إلى اصوات بسيطة ، هي الصوت الأساسي T ومتفرعاته وهذا ما يسمى بالهرمونيك .

جاءت إلى غاسبار مونج G.Monge من قبلُ فكرةُ وجود هرمونيكا ، أي اصوات متفرعة من الصوت الأساسي ودورها في تشكيل الجرس ، في حين أن موسيقيين امثال رامو Rameau واختباريين امثال كلادني Chladni ، ظلوا مترددين حول هذا الموضوع . ولكن اكتشاف الغورتمية رياضية مناسبة مثل سلاسل فوريه لم تكفِ لحسم النقاش . وتحليل الأصوات لا يمكن ان يجتاز المرحلة التجريدية الخالصة للحساب الرياضي الا عندما يتم التجريب اللازم من اجل عزل (الأصوات المساعدة) أو الهرمونيكا . وكان عمل هلمولتز بين 1863 و 1877، وبفضل المجسمات الصوتية ، عملاً اثبت أن الأصوات المرافقة هرمونيكا ، يمكن أن تستخرج من الصوت العام كما يمكن استخراج الألوان من الضوء الأبيض رغم انها لا تظهر فيه .

التقاطعات والتداخلات ، والخفقات ، والموافقات : إن تراكم صوتين هو مسألة تترافق مع مسألة تحليل الصوت . وقد ظن الأخوان ي . هـ . وو . فيبر E.H et W.Weber ، وهما يعالجان هذه المسألة في حالة صوتين بسيطين انهما قد حصلا على نتيجة مرضية باستخدام علاقة الذبذبات استخداماً متطوراً للجزء المستمر منها ، ولكن الخلاف بين هذه النتيجة والنتائج التجريبية وجه هالستروم Hallström سنة 1831 نحو قانون آخر يستدعي ادخال الفرق بين عدد الذبذبات في ذات الوقت . هلمولتز هو الذي توصل فيما بعد إلى نظرية مرضية حول الضربات . وهي نظرية لم تكتمل إلا بفضل تركيم Terquem وبوسينسك Boussinesq .

وقد انهى و . فوات Voigt سنة 1890 الجدل حول الأجراس التفاضلية وحول الأجراس المضافة وذلك عندما درس بصورة منهجية معادلة الذبذبات بالنسبة إلى حركة مركبة من ذبذبتين بسيطتين . ودراسة التوافقات ، وهي التي تقوم ، في شكلها النظري على تركيبات وتغييرات في الحركات ، هذه الدراسة تسببت ببحوث رياضية متنوعة دونما نتيجة ملحوظة ولا مستمرة . وبالمقابل ، يجب أن نشير إلى أن الرسيمة النظرية لحسابات المداخلات والتقاطعات كانت الدافع والمحرك نحو اعمال تجريبية جديدة . وقد اوحت المعالجة الرياضية العامة للظاهرات الذبذباتية بالبحث عن المشابهات والمماثلات بين الظاهرات الضوئية والصوتية . والنجاحات التي حققت بالنسبة إلى التقاطعات وإلى الانعكاس والانكسار في مجال الأصوات تثبت أن النتائج الرياضية هي في اغلب الأحيان اقل اهمية من شكلها ومن اسلوب الفكر الذي تنطلق منه .

الانتشار والموجات : إن البحث في الانعكاس والانكسار يعني الدخول في بعدٍ آخر مختلف : فالصوت هو ذبذبة تنتشر . وقد خصصت بحوث كثيرة فيما بين 1815 و 1840 لدراسة الانتشارات . وقد اهتم كوشي بشكل خاص بالضوء وبيّن في دروسه في الكوليج دي فرانس سنة 1830 ، ان الذبذبات الاعتراضية هي ، في حالة الضوء ، الذبذبات الوحيدة التي تنتشر ، وقد قدم بذلك مساعدة ثمينة لنظرية فرنل . ولكن إذا كان كوشي قد اهتم بتأسيس ميكانيك الأوساط المطاطية إلا أنه اكتفى بملامسة مسألة الموجات الصوتية . في حين لقيت اعماله تطويرات مفيدة في مجال المعالجة الرياضية للانتشارات الذبذباتية التي يمكن أن تختلط فيها الذبذبات الاعتراضية والذبذبات الطولية . إن دور الظروف المتعلقة بحدود تعريف الحالة الذبذباتية وتولد التكاملات المتعلقة بالمعادلات التفاضلية بدت واضحة بعد هذا . ولكن صعوبات التطبيق على السمعيات تأتي ، بالضبط من عدم يقينية الشروط

بالنسبة إلى الحدود ، كما دلت على ذلك عدة دراسات جرت بصورة خاصة حول الأنابيب الصوتية

ومن بين الأعمال النظرية البارزة يجب ذكر اعمال لورد ريلي Lord Rayleigh حول ظاهرة الرنين ، وهي ظاهرة درست بعد فكرة التزاوج المأخوذة عن هويجن Huygens ، وحيث يحلل الفعل التناوبي ، للحافز والمتلقي ، على أساس مبدأ الطاقة . وإلى ريلي يعود الفضل في تطوير معادلات الحركة ، هذه المعادلات التي تتيح تحديد التبعية المتبادلة للاتساع وللشكل الظاهر وللطاقة . درس كيرشوف سنة 1868 مسألة التمويت وبين وين Wien سنة 1896 تأثير هذا التمويت في التزاوج السمعي : أن الطاقة القصوى لا تتوافق مع الاتساع الأقصى . وتغير طول الموجة في حركة ذبذباتية بفعل انتقال المصدر أو انتقال الراصد هو احدى النتائج الملحوظة في البحوث النظرية التي تتوجب الإشارة إليها أيضاً . إن هذا التنقل المعزو إلى دوبلر Doppler سنة 1842 قد فتح المجال على تطبيقات خاصة جداً بالنسبة إلى الضوء وإلى الفيزياء النجومية . وفي مجال الظاهرات الصوتية أتاح تطوّر السكة الحديدية لهذا المبدأ حقل تجريبٍ في متناول الجميع ، وذلك من خلال صفارات القطارات ، ولكنه أثار أيضاً دراسات مخبرية .

الحالات الذبذباتية للأجسام : إن ذبذبة الهواء التي تعطي الصوت هي شيء ، والحالة الذبذباتية للأجسام ، والتي تتسبب ببث الأصوات هي شيء آخر . ونظراً لأهمية مسألة المطاطية وميكانيك الأوساط المستمرة في نظر الرياضيين لا يتوجب العجب من رؤية الباحثين يخصصون منذ مطلع القرن بحوثهم حول انتشار الذبذبات في نظام مادي . في سنة 1817 قام لابلاس وتبعه بواسون سنة 1819 بوضع نظرية التموجات الطولية داخل قضيب . والرسوم المتخذة من قبل سطوح مطاطية في حالة ارتجاف (راجع الرسوم السمعية عند كلادني Chladni) كانت موضوع دراسات رياضية من قبل صوفي جرمان ومن قبل بواسون (1811 - 1829) ولكن كيرشوف بيّن في سنة 1850 أن نظرية صوفي جرمان Sophie Germain غير قابلة للتطبيق ، وان نظرية بواسون تطبق فقط على حالات خاصة . أما الجهود النظرية الخالصة التي اثارتها ظاهرة الصفائح المتذبذبة فكانت في النهاية اكثر مساعدة على تطوير الميكانيك العام في مجال المطاطية وتحليل المعادلات ذات الاشتقاقات الجزئية ، مما هي عليه بالنسبة إلى مجال السمعيات بالذات ، ومع ذلك لا يمكن تجاهل فوائدها

II - السمعيات التجريبية

تحليل الأصوات : لم تتطور المعدات التجريبية الضرورية لتحليل الأصوات إلا بصورة متأخرة . والمنهج الغرافي (التسجيلي) الذي يقوم على نقل الذبذبات التي يجب درسها إلى رأس ابرة من شأنها ترك اثر لتنقلاتها فوق صحن أو فوق اسطوانة دائرة مغطاة بسواد الدخان ، قد ابتكر سنة 1840 من قبل دوهاميل . في حين أن المعدات البصرية التي تتيح رصد نقطة ضوئية خاضعة للذبذبات (مسلاط) لم يدخلها ليساجوس Lissajous ويعتمدها هلمولتز إلا في الفترة 1857 - 1863 .

ودراسة ظاهرة الرنين ، المعروفة منذ العصور القديمة ، والمدروسة علناً بشكل تجريبي خالص من قبل صانعي ادوات الموسيقى ، كانت ضرورية من اجل الحث على صنع أجهزة تتيح تحليل الأصوات . ثم ان مدويات هلمولتز جاءت بعد الأعمال التي قام بها الأخوان فيبر حول النوتات التي

يمكن أن ترسلها بعض الأجسام (مثل اوتار البيانو أو المرنان ، ديابازون) عن طريق الرنين ، وكذلك حول خصائص الامتصاص الذي تقوم به كتلة من الهواء داخل وعاء ما ، وذلك نسبة إلى الذبذبات التي لا تنطبق في حقبة اساسية بسيطة ، تبعاً لخصائص الآلة . وقام ر. كونيغ R.König بربط مرنانات بمانو متر ذي لهب فاوضح حالتها الذبذباتية وذلك بالحاق مرآة دائرة ، وهكذا استطاع في سنة 1864 أن يرسم محللاً للأصوات . وهذه الآلة اثبتت بذات الوقت المبدأ الأساسي في الرنين : عزل الأصوات الخاصة والبسيطة .

وأخذت الكهرباء تساهم في الموضوع ابتداءً من سنة 1850 ، وذلك على يد دوف Dove من اجل احداث حالة ذبذباتية بواسطة مغناطيس مكهرب وبواسطة تيار كهربائي مقطوع وموصول بشكل متتالٍ . ولكن ، وحتى سنة 1884 ، استطاع ملد Melde ، بواسطة اجهزة مشابهة دراسة الذبذبات الاعتراضية بوتر مشدود ، وفي سنة 1887 اكمل بولوج Puluj الجهاز وذلك بجعل الحالة الذبذباتية منظورة بواسطة الاضاءة المتقطعة للمبة فوسفورية . واكمل كريغار منزل Krigar - Menzel ورابس Raps اعطاء هذا الجهاز التجريبي كل قوته البحثية وذلك بتزويده بالفوتوغرافيا سنة 1891 و 1893 . ويجب الاشارة إلى أن الطرق الستروبوسكوبية Stroboscopique قد توضحت منذ 1866 من قبل توبلر Töpler الذي وضع ، بتأثير من بولتزمان Boltzmann ، في سنة 1870، طريقة مرتكزة على تقاطعات الأشعة الضوئية الصادرة عن مصدر متقطع ، وبعض هذه الأشعة يجتاز طبقة هوائية ساكنة والبعض الآخر يقطع طبقة من الهواء متذبذبة . وتطور التجريب هو الذي اتاح تصحيح نتائج هلمولتز فيما يتعلق بموضوع الصوت البشري . (فالأحرف الصوتية المدية تتميز لا باجراس ثابتة مطلقاً بل بارتفاعات محدّدة في الجرس أي بنسب ثابتة من الذبذبة : رابس ، 1893) ، كما أتاح نمو التجريب توضيح تأثير المدى أو المرحلة (و . تومسون W. Thomson ، 1878).ان تغيراً في الغنّة بحسب مواقع المدى المختلفة يعزى فقط إلى تقاطع في الهرمونيكات أي الأصوات الفرعية (هرمان L . Hermann 1896 ، ولنديغ Lindig 1903) .

إن حدود سمع الأصوات ، والقدرة الفاصلة في الأذن ، وحساسيتها تجاه مختلف ارتفاعات الأصوات ، وادراك الغنة ، كل ذلك كان موضوع العديد من البحوث ، حيث نجد أسماء هلمولتز وبولتزمان وتوبلر. وقد اهتم هلمولتز ، بشكل خاص بالتثبت من احدى النتائج التي حصل عليها فيبر حول حساسية الأذن (التمييز بين صوتين العلاقة بينهما ، من حيث الذبذبة ، هي بنسبة 1000 : 1001) وذلك باستعمال الشعيرات المطاطة المكتشفة في عضو السمع من قبل الطبيب الايطالي كورتي Corti (1846) وقد درس هلمولتز ايضاً توافق الأصوات وتنافرها انطلاقاً من تطابق الهرمونيكات وتفارقها .

التداخلات : اقترن اسم الأخوين فيبر بالتجارب الأولى حول التقاطعات أو التداخلات وذلك مع دراسة نقاط الصمت حول مرنان شعبتاه في حالة ارتجاج (1825) . وضع ج. هرشل في سنة 1835 جهازاً مكوناً من انبوب من الزجاج مقسوماً إلى شعبتين الفرق بين طوليهما يعادل نصف طول موجة ، وهذا الجهاز حسنه كنكي Qincke سنة 1866 ثم كونيغ بشكل يجعل غياب الصوت موضوعياً . ويتألف جهاز كونيغ من انبوب يتلقى صوت المرنان بواسطة مضخم ثم ينقسم الى فرعين ينتهيان إلى

كبسولة مانومترية . وكل فرع مزود بلولب يسمح بتغيير طوله ، اما الشعلة المحكومة بالمانومتر والمدروسة بواسطة المرآة الدوارة فتجعل التقاطعات منظورة وواضحة . وهناك نمط آخر من التجربة يقدمها جهاز هوبكنز ، المزود بصحيفة مرتجفة ومقسومة إلى مقاطع بواسطة خطوط « عقدية » (Nodales) ويلتقط الصوت منه بواسطة انبوب بشكل (λ) . وعندما يقع الثقبان المعدان للالتقاط فوق قطاعات ضيقة من الصحيفة ، نحصل عند المخرج المشترك على الغاء الصوت .

ولكن ظاهرة التقاطع ليست مقصورة على تراكم الذبذبات من ذات الوتيرة . فقد لاحظ ج . اندرياس سورج G. Andreas Sorge في سنة 1744 ، وجيسيب تارتيني Guiseppe Tartini سنة 1754 الصمت الحادث عند تراكم صوتين كما الجدوى التي يمكن استخلاصها بالنسبة إلى تجانس الآلات الموسيقية . وقد اثبت هالستروم Hallström في سنة 1832 الدور الذي يلعبه فرق عدد الذبذبات . وقد تثبتت هذه النتيجة نظرياً من قبل هلمولتز في سنة 1856 ، ولكن هذا الاخير بيّن أنه ، إلى الأجراس التفاضلية ، تدخل اجراس اضافية ، كما اثار مسألة موضوعية كل من النوعين . وبين كنكي في سنة 1866 ، بفضل تجارب اجراها بواسطة جهازه للتقطيعات ، ان بعض الأصوات الناتجة ، والمدركة ضمن تراكم صوتين معينين ، تظهر فقط في الأذن وليس لها وجود موضوعي . وفي سنة 1876 عبر كونيغ عن الفكرة التي سبق ان عبر عنها لاغرانج ، ومفادها أن الصمت قد يلحظ ويسمع كطرقة وأنه إذا كانت الوتيرة كافية ينتج عن الصمت نوع من الصوت محسوس ذاتياً

الانتشار والموجات : إن سرعة الصوت في الهواء كانت موضوع قياسات اكثر فاكثر دقة تبعاً لتحسين اجهزة التجريب . وتوصل آراغو Arago وبروني Prony ، وهما يعملان في سنة 1822 ، بجوار باريس من محطتين (فيلجويف Villejuif ومونتليري Montlhéry) بعيدتين بما يقارب ثمانية عشر كيلومتراً و 600 متر ، ثم بواسطة طلقات مدفع بين الطلقة والطلقة 5 دقائق وبالتناوب ، عثرا على نتيجة بشأن سرعة الصوت هي 2، 331 م/ث في حين أن لجنة هولندية كررت بعد ذلك بقليل تجارب مماثلة في امستردام فتوصلت إلى نتيجة هي 26، 332م /ث .

ومن أجل استبعاد الأخطاء الشخصية المعزوة إلى الملاحظين ، كرر رينيو Regnault في ما بعد أي سنة 1868 التجارب المباشرة وذلك بتسجيل أوتوماتيكي في مركز الرصد وذلك بفضل جهاز كهربائي ، فحدد زمن الانطلاق وزمن وصول الصوت . وكانت النتيجة الوسطى 7، 330م/ ث ، وهذه النتيجة ثبتتها تجارب ليرو Le Roux .

إلا أن القياس المباشر لسرعة الصوت بقيت مع ذلك عملية عشوائية بسبب العديد من أسباب الخطأ . وفي القرن الثامن عشر كان هناك شكوك حول تأثير درجة الحرارة ودرجة الرطوبة . وقد اثبتت تجارب رينيو Regnault من جهة اخرى الظاهرة التي سبق أن اثارت اهتمام لابلاس ومفادها أن سرعة الانتشار تكون اقوى بالنسبة إلى الأصوات ذات الزخم الأقوى . فضلاً عن ذلك ازدادت الاستعانة بالطرق غير المباشرة . ولكن الهواء لم يكن الركيزة الوحيدة للذبذبات الصوتية . فكل الغازات تنقل الأصوات . وقد سبق لنيوتن ان اشار إلى أن سرعة الانتشار يجب أن تكون متناسبة عكسياً مع الجذر التربيعي للثقل النوعي: $v = \sqrt{\frac{P}{d}}$ حيث تمثل P الضغط و d الثقل النوعي والنتيجة

الخاصلة والمغالطة بخلال القرن الثامن عشر من خلال التجارب المتنوعة ، قد تمّ اصلاحها من قبل لابلاس الذي ادخل علاقة الحرارة النوعية للغاز الواقع تحت ضغط ثابت وبحجم ثابت : $v = \sqrt{\frac{p}{d} \cdot \frac{C}{c}}$. والواقع أن الفضل يعود إلى دولونغ Dulong ، في سنة 1829 في القيام بسلسلة من التجارب من اجل اثبات هذا التصحيح .

وقد اثارت سرعة الصوت في السوائل وفي الجوامد أيضاً اهتمام الفيزيائيين . ويتوجب ذكر التجارب التي قام بها كولادون Colladon وستورم Sturm في بحرة ليمان سنة 1828 لقياس سرعة الصوت في الماء (1435 م/ث) وهي تجارب اجريت وفقا للطريقة المباشرة . كما يجب ذكر تجارب كانيار دي لاتور Cagniard de Latour في سنة 1835 وتجارب ورتهيم Wertheim 1849 ، وكلها ترتكز على الصوت المبثوث بطرق مختلفة ضمن سائل داخل انبوب . وبالنسبة إلى الجوامد لم تستطع تجارب بيوت Biot وورتهيم Wertheim إلا استخدام الطريقة المباشرة ، فاصطدمت بصعوبة ضخمة : وجوب استعمال مسافة طويلة من المادة المعتمدة (امثال قساطل الفونت والخطوط التلغرافية) وكذلك مصادر الخطأ الناتجة عن الوصلات ونقاط الارتكاز .

وكان انعكاس الموجات الصوتية عند اصطدامها بالحواجز الثابتة ظاهرة معروفة منذ القدم ومستخدمة في رجع الصدى وفي المكبرات الصوتية . ولكن القرن التاسع عشر ساهم في هذه النقطة مساهمة ملحوظة . فالانتقال من وسط اكثر كثافة إلى وسط أقل كثافة يحدث انعكاساً وقد قدم الأخوان فيبر اثباتاً على ذلك في Wellenlehre سنة 1825 . كما أن تيندال Tyndall لاحظ ذلك في دوفر سنة 1874 عندما درس فعالية الاشارات الصوتية فوق البحر اثناء الضباب . وقد استحدثت الظاهرة في المختبر عندما ادخل بين الأنبوب الصوتي واللهب الحساس طبقة هواء حارة تصرفت كحاجز .

واعطت الموجات الصوتية ، كما الموجات الضوئية نوعاً من الانكسار . وقام سوندهوس Sondhauss بتجربة ذلك سنة 1852 مستعملاً عدسة من الكولوديون مملوءة بالغاز كربونيك الأثقل من الهواء ، مما اتاح له الحصول على صورة للمصدر الصوتي . وفي سنة 1858 اخضع هاجك Hajech المسألة للاعتبارات النظرية . وفي اواخر القرن اجرى هيسوس Hesehous (1890) تجربة بواسطة نصف كرة من خيط حديدي مجدول مملوءة بالريش أو السبيخ . وفي سنة 1894 اجرى نيرنوف Neyreneuf تجارب بواسطة عدسات ثنائية التقعر من الكوتشوك ، كما اجرى بيرّو Perrot ودوسو Dussaud 1895 تجاربها بواسطة برميل مملوء بالماء ومحاط بطبقة من الكوتشوك . ودلت التجارب ، كما هو الحال في البصريات على أن معيار الانكسار يعادل نسبة سرعات الانتشار .

وأخيراً تبين أن الموجات الصوتية تحمل الطاقة . والاهتمام الذي وجهه الفيزيائيون إلى هذه الأوجه من الظاهرات الفيزيائية أوجب القيام ببحوث جديدة في مجال الصوتيات . وفي سنة 1868 - 1870 نفذ وربورغ Warburg سلسلة من التجارب اثبتت المفاعيل الحرارية التي تحدثها كل الأجسام المرتجفة وبصورة خاصة عواميد الهواء المرتجفة . وقام شامبيون Champion وبيليت Pellet في سنة 1872 باثبات المفعول الكيميائي للصوت ، على آميد اليود الموجود ضمن بالون ، وهو تأثير يمكن أن يحدث انفجاراً

الأجسام المرتجفة : فيما يتعلق بالاوتار ، قدمت تجارب ملدي Melde (1860 - 1864) عنصراً جديداً عندما اثبتت تأثير اسلوب الاثارة . فاستعمال المرنان مثلاً ، إذا كان سطح فرعيه يحتوي الخيط (الاثارة الطولية) فإن صوت الوتر يكون بدرجة اوكتاف عميق في المرنان . إذا كان سطح المرنان عامودياً على الخيط (الاثارة الاعتراضية) عندها يكون هناك توافق اتحادي . وبالنسبة إلى الصفائح المرتجة تجب الاشارة إلى أعمال ستريهلك Strehlke المثبتة لنتائج كلادني Chladni في حالة الشكل الدائري . اما فيما يتعلق بالشكل المستطيلي : فقد انتهى القرن التاسع عشر بتجارب قام بها لورد ريلي سنة 1880وتاناكا Tanaka سنة 1887 دون التوصل إلى مجمل مرضٍ .

وفي مجال الانابيب الصوتية تميز القرن التاسع عشر باكتشاف ظاهرات مهمة تتوافق مع التجربة القديمة التي قام بها صانعو الأرغن . وفي سنة 1829 حدد دولونغ Dulong عن طريق التجربة التصحيح الذي يجب اجراؤه من اجل الحصول على ارتفاع في الصوت الأساسي ضمن انبوب مغلق في طرفه . ودرس ف. سافارت F.Savart في ذات الحقبة الأنابيب ذات المقطع المستقيم وبين أنه إذا لم يكن للشكل تأثير على الوتيرة ضمن بعض الشروط في المسرب ، فإن طبيعة الجوانب تتدخل في ارتفاع الصوت . وفي سنة 1838 رصد هوبكنز مواضع العقد في عامود هواء مرتجف . ونتج عن الأعمال التجريبية أن العقد والبطون لا تحتل قرب الأطراف المواقع النظرية المرتقبة تبعاً لطول الموجة . ودرس ورتهيم Wertheim في سنة 1848 - 1850 هذه الاضطرابات ، التي يعزى قسم منها إلى انعكاسات عند الأطراف المفتوحة . وفي سنة 1859 وضع هلمولتز النظرية الكاملة حول الأطوال المختصرة في انابيب الأرغن . ودلت هذه التصحيحات على أن الطريقة غير المباشرة في قياس سرعة الصوت سنداً للصوت المبثوث من خلال انبوب ونسبة الطول إلى طول الموجة تقتضي هي ايضاً اتخاذ احتياطات كبيرة .

آلات جديدة : لقد اوحت المناهج التجريبية في التسجيل الغرافي للأصوات إلى اكتشاف اديسون سنة 1877 ، مبدأ الفونوغراف الذي هو في الواقع عكس ما يدل عليه مبنى الكلمة لغوياً . فالفونوغراف يسجل ولكنه يعيد فيما بعد بث الأصوات فيصبح غراموفون . وهذا الجهاز اصبح له فيما بعد مستقبل باهر ولكنه اقتضى اكثر من ثلاثين سنة لوضعه موضع التنفيذ بعد اكتشاف مبدئه .

والتلفون المرتكز على تحول الطاقة الصوتية إلى كهرباء وإلى تحول عكسي ، هو أيضاً من انجازات القرن التاسع عشر . ويعود الفضل في اختراعه إلى العالم في الصوتيات غراهام بل Bell (1847 - 1922) الذي كرّس نفسه بشكل خاص لدراسة الأصوات الحلقية وذلك بسبب قيامه بتعليم الصم البكم ، واختراع التلفون تم انجازه بذات الوقت ايضاً من قبل تقني متفرغ هو اليشا غراي Elisha Gray (1855 - 1901) ولكنه لم يصبح عملياً إلا بعد اختراع الميكروفون من قبل دافيد هيوز D.Hughes (1831 - 1900) . وأخيراً تجب الاشارة إلى أن القرن التاسع عشر شاهد وجود ادوات جديدة موسيقية مثل « الساكسات » Sax وأنابيب فردي Verdi ، كما عرف استخدام المعادن في صنع المزامير والآلات الهوائية .

الخلاصة : لقد بذلنا جهدنا من اجل اعطاء القارىء خطاً موجهاً ضمن مادة معقدة وواسعة جداً ولكن اضطررنا إلى اغفال العديد من الوقائع واغفال ذكر اسماء العديد من الباحثين كما اننا اغفلنا ذكر

نتائج مهمة . وقد فكرنا بأن التصنيف الدقيق للأفكار ، ولبنية الفكر هو اكثر اهمية من تراكم المعلومات ونأمل أن نكون قد قدمنا مدخلاً صحيحاً لمن عنده ميل إلى دراسة الدقائق الواضحة ، بحيث يجد بسهولة مطلبه لدى الكتاب الكبار . إن علم الصوتيات في القرن التاسع عشر هو علم شاهد وهو مفترق طرق تلتقي فيه انجازات العلوم الرياضية والفروع الأخرى من الفيزياء حيث تتراكد الوقائع التجريبية الجديدة ، المولدة لأجهزة ذات صدى ثقافي واجتماعي .

الفصل الرابع

الكهرباء والمغناطيسية
1895 - 1790

في بداية الثورة الفرنسية ، تم اكتشاف كل المبادىء الأساسية في الكهرباء الستاتية وفي المغناطيسية الستاتية . وقد اوضح فرانكلين فكرة الشحنة الكهربائية ، ثم اعلن مبدأ حفظ الكهرباء . وحدد « كافنديش » Cavendish طاقة الموصل ودرجة كهربته (وهو ما سمي فيما بعد بالزخم الكامن) . اما كولومب Coulomb فقد وضع قانون المربع العكسي للمسافات بالنسبة إلى تفاعل الشحنات (أو الكتل) الكهربائية فيما بينها ، كما حدد القطب المغناطيسية . وبدأ بدراسة توزيع الكهرباء فوق سطح الموصلات ، دراسة تجريبية ونظرية . وأخيراً عرف أنه لا توجد أقطاب مغناطيسية حرة ، وان مغنطة أي جسم تتحدد بعزمه المغنطيسي وان هذه اللحظة تنتج ، أحياناً عن عزوم ذاتية في كل جزيئاته (راجع مجلد الكتاب الثاني من القسم الثالث) .

وفي سنة 1790 بدأت احدى المراحل الأكثر اشراقاً في كل تاريخ العلوم ، وهي حقبة تم في نهايتها اكتشاف البطارية والتيارات الدائمة من قبل « ڤولتا » ؛ وفيها تم اكتشاف الروابط بين الكهرباء والمغناطيسية ، وبين الكهرباء والمادة ، كما فتحت الطريق اخيراً امام كل الصناعة الكهربائية الحديثة . ولكن قبل الشروع بوصف هذه الثورة العجيبة ، نشير إلى كيفية متابعة الفيزيائيين الرياضيين من بداية القرن التاسع عشر ، اعمال « كافنديش » و « كولومب » ، وكيف قاموا بانهاء ربط هذه الأعمال بمبادىء الفيزياء النيوتونية .

I - ولادة نظرية الزخم الكامن (أو الجهد)

الجهد النيوتني : لقد كان عمل الخلفاء المباشرين لـ « كافنديش » و « كولومب » رياضياً في اساسه : فطوروا نظرية الجهد ـ والأعمال المتغيرة بصورة عكسية تبعاً لمربع المسافات ـ وطبقوا هذه النظرية على الكهرباء وعلى المغناطيسية ، فأعدوا بواسطة الحساب لدخول فكرة حقل القوى ـ وبصورة اعم حقل الأسهم الموجهة (Vecteurs) ـ إلى مجال الفيزياء .

وبعد 1777 كشف لاغرانج Lagrange وبسط نظرية الجذب محدداً لكل نقطة من الفضاء وظيفة ، « أي مجموعاً لكل الكتل الجاذبة مع قسمة كل منها ببعدها عن هذه النقطة » ، وهذه الوظيفة ليست إلا « الجهد النيوتني » ، والذي يكفي لحساب كل القوى .

في سنة 1782 بيّن لابلاس ان هذه الوظيفة V(x, y, z) تكتفي ،خارجاً عن الكتل الجاذبة ، لمعادلة ذات اشتقاقات جزئية ، « معادلة لابلاس » التي اصبحت شهيرة ومهمة جداً في كل مجالات الرياضيات .

عمل بواسون Poisson : في سنة 1813 وضع بواسون هذه الحسابات في مناطق تتضمن المادة ، أو الكهرباء ، وهذه المناطق موزعة بنوع من الكثافة . وتوصل إلى وضع معادلة تحمل اسمه ، وهي اكثر عمومية من معادلة لابلاس ، والتي هي التعبير « المحلي » ، المبهم نوعاً ما ، لقاعدة اكتشفها غرين Green (1828) ثم عثر عليها تحت اشكال اخرى م. شال M.Chasles (1837) ثم غوس (1839) : شكل دفق القوة (ونتكلم اليوم بدقة اكبر - مستمدين من مكسويل وفراداي - عن الدفق الخطّي) ، هذا الدفق الذي يخرج من سطح مغلق يساوي أربعة اضعاف بي(π)مضروبة بالمجموع الجبري لشحنات الكهرباء (أو الكتل الجاذبة) الواقعة داخل هذا السطح . ولكن مفهوم الدفق في القوة لم يستخرج إلا فيما بعد من قبل الرياضيين ، ثم بشكل اكثر استقلالاً ، واكثر الهاماً من قبل فراداي (1831) .

وبنفس العمل توصل بواسون إلى دقة في حل مسألة كان كولومب قد بحث لها عن حل نظري تقريبي بعد أن كان قد اجرى لها دراسة عملية دقيقة ، وهذه المسألة هي مسألة توزيع الكهرباء على جهاز مؤلف من كرتين .

وانطلاقاً من مبدأ أن « حصيلة مفاعيل الطبقات الكهربائية السطحية التي تغطي الموصلات ، فوق نقطة ما مأخوذة داخل هذه الموصلات ، يجب ان تكون معدومة » ،توصل بواسون إلى ان الدالة (V) يجب أن تكون مستقرة في كل حجم الموصل (الذي تقيس هذه الدالة درجة كهربته) . ثم حصل عن طريق حساب صعب ، بشأن كثافة الكهرباء في كل نقطة من سطح الكرات ، على صيغ واضحة تثبتها تماماً المعطيات التجريبية التي قام بها كولومب .

ج . غرين G.Green وش . ف . غوس C.F.Gauss : اطلق جورج غرين في كتابه « محاولة لتطبيق التحليل الرياضي على نظرية الكهرباء والمغناطيسية » ، على الدالة (V) اسم « الدالة الجهدية » وأوضح ، في هذا العمل الذي صدر سنة 1828 ، والذي بقي شبه مجهول حتى اعادة طبعه سنة 1850 - خصائص هذه الدالة واستخدمها من اجل تبيين بعض القواعد المهمة سواء بالنسبة إلى الرياضيات عموماً ام بالنسبة إلى الكهرباء والمغناطيسية وخاصة قاعدة « الشاشات الكهربائية » المفيدة جداً من الناحية العملية ، والتي عثر عليها فراداي سنة 1837 عن طريق التجربة .

واستعملت كلمة « جهد » من قبل غوس Gauss بدون معرفة غرين ، وذلك في عمله لسنتي 1839 - 1840 : « قواعد عامة حول قوى الجذب والدفع تبعاً لعكس مربع المسافات » .

بواسون ونظرية المغناطيسية : أما علم المغنطيسية ، فبواسون هو الذي وضع اسمه النهائية في كتابه الرائع « مذكرة حول نظرية المغناطيسية » والمقدم إلى اكاديمية باريس سنة 1824 . وهنا ايضاً ينطلق من افكار كولومب : « في عملية المغنطة يبدو السائلان الشمالي والجنوبي ، والمجتمعان في حالة الحياد ، قريبين جداً من بعضهما البعض » وربما « في الجزيئات من ذات الأجسام المغنطة» ، وفي كل الأحوال في مجالات « ابعادها متناهية الصغر إلى اقصى حد » .

ويجب أن نلاحظ التردد في توضيح الفرضيات الجزيئية في حين أن فرضية السوائل المغناطيسية تبدو جد طبيعية . وهذا امر تميزت به عقولٌ كثيرةٌ في تلك الحقبة . ومع ذلك فقد كان امبير Ampère قد صاغ نظريته حول « التيارات الجزيئية» .

هذه المبادىء بعد وضعها مكّنت بواسون من تحديد حالة جسم مغناطيسي بواسطة مقدار ما فيه من مغنطة ، وهي كمية موجهة أو سهم (Vecteur) يمكن أن تتغير بشكل مستمر - أو متقطع - من نقطة إلى اخرى ، وتقيس محلياً العزم المغنطيسي في وحدة الجسم . ثم حسب في ما بعد في كل نقطة خارجية الجهد - دون أن يسميه بهذا الأسم - كما حسب « الزخم المغناطيسي » (الحقل) . وذلك بعد أن يكون هذان اي الجهد أو الزخم ، قد استُحدثا بفضل توزيع معين للمغنطة داخل الأجسام . وبيّن أن الأقطاب المغناطيسية تظهر ضمن المناطق التي تتجمع فيها أو تتنافر فيها الاسهم الأخيرة .

ثم أخذ يعالج نظرية المغنطة بالتأثير : فافترض مادة مغناطيسية مثل الحديد الأبيض تتألف من عدد كبير من الكرات الصغيرة « الكاملة التوصيل للموائع المغناطيسية » . وتحت تأثير حقل خارجي تنتقل هذه السوائل وتتراكم على جانبي سطح هذه الكرات بشكل يلغى فيه الحقل الداخلي - تماماً كما تفعل السوائل الكهربائية داخل كرة من النحاس - وهذا التنقل يعطي لكل كرة عزماً مغناطيسياً ويعطي للمادة المنظورة مغنطةً تساوي الحجم الذي تحتله هذه الكرات داخل وحدة الحجم .

وبهذا الشأن توصل إلى حساب الحقل الذي يسود ضمن تجويف كروي محفور داخل مغناطيس وقد نوقشت الأفكار الجديدة الخصبة - رغم أن بعضاً من هذه الفرضيات الأساسية ، وهي فرضيات الموائع المغناطيسية والكرات الموصلة ، لم يمكن الاحتفاظ بها - قد نوقشت ووضحت بخلال القرن التاسع عشر وخاصةً من قبل وليام تومسون . ولكن النتائج الأساسية التي حصل عليها بواسون ظلت غير ممسوسة وبقيت نظريته كلاسيكية .

نظرية المثنوية الكهربائية : في سنة 1847 نقل موسوتي Mossotti أفكار بواسون إلى حالة المثنويات الكهربائية ، التي كان فراداي - بعد كافنديش - قد عرف خصائصها منذ عشر سنوات . واصبحت حساباته اساس نظرية تكثيف المثنويات . وحملت صيغة بواسون التي وضعها من اجل حقل التجويفات الكروية اسم لورنتز (الذي ناقش شروط صحتها) ، وذلك في نظرية المثنويات .

II - اختراع البطارية الكهربائية

تجارب غالڤاني Galvani: في سنة 1780 اصدر لويجي غالڤاني (1737 - 1798) ملاحظة عابرة نشرها فقط سنة 1791 في مذكرة عنوانها « De Viribusclectricitati in motu musculari »

« بعد تشريح وتحضير ضفدعة ، وضعتها فوق طاولة حيث توجد آلة كهربائية على مسافة قريبة . وحصل أن قرّب احدُ مساعديَّ رأسَ مجسه من العصب الفخذي الداخلي للضفدعة : وفي الحال اضطربت عضلات اطرافها اضطراباً عنيفاً » . ولاحظ مساعد آخر « أنه في نفس اللحظة صدرت شرارة كهربائية عن موصل الآلة وكنت انا مشغولاً بشيء آخر . وعندما ابلغت الحادث رغبت كثيراً في اجراء التجربة بنفسي لاكتشاف المبدأ الكامن فيها » .

وشعر كالفاني في الحال أنه عثر على اكتشاف مهم . لقد اكتشف كاشفاً حساساً جداً للتيارات الكهربائية أو الشحنات الكهربائية ما يزال غير مدروس . وهذا الكاشف سوف يبين له طريقة جديدة في انتاج الكهرباء (إذ لم يكن قبل ذلك بالامكان انتاج الكهرباء إلا بالحك وبالتأثير الكهربائي الستاتيكي) وأخذ بعد ذلك يبدل في ظروف تجاربه .

وذات يوم عاصف لاحظ أن الكهرباء في الجو تحدث نفس المفاعيل التي تحدثها آلته . اما في الطقس الصحو فلم يكن من الممكن ملاحظة أي حدث ، إلى أن جاء اليوم الذي ثبت فيه في النخاع الشوكي للضفدع عَلاَّقة من النحاس . وسَكَّر الحلقة بعد أن علق هذه العلاقة في شريط حديدي : راخذت الاختلاجات تظهر حالاً . وعزا غالفاني ، في بادىء الأمر ، هذه المفاعيل التي يمكن اعادة احداثها مجدداً إلى التغيرات في الحالة الكهربائية في الجو . إذ من السهل ، عند اجراء التجارب ، الإخطاءثم التخيل بأننا نرى فعلاً ما نتمنى أن نراه . « ولكني اخذت الحيوان الى غرفة مقفلة ، ووضعته فوق شريحة من حديد . وعندما لمست الشريحة بواسطة علاقة النحاس المثبتة في نخاعه لاحظت نفس التقلصات الإختلاجية كما في السابق . وجربت معادن اخرى وحصلت على نفس النتيجة ، انما بعنف مختلف . اما بعد استعمال اجسام غير موصلة فلم يحدث شيء . وبدا هذا عجيباً مما حملني على الظن بأن الكهرباء كانت موجودة في الحيوان ذاته ، وهذا الظن قد تأكدَّ عندما لاحظت وجود نوع من التيار العصبي اللطيف (الذي يشبه التيار الكهربائي في قنينة ليد Leyde) يحدث بين الأعصاب والعضلات عندما تحدث التقبضات » .

وتمسك غالفاني طيلة حياته بنظرية الكهرباء الحيوانية وقارنها بقنينة ليد بحيث يكون العصب هو الدرع الداخلي والعضل هو الدرع الخارجي (إن البحوث اللاحقة حول الكهرباء الحيوانية قد وردت في دراسة ج . كانغيلهم في الفقرة 3، الفصل 6 ، الكتاب1 ، القسم 5) .

تدخل فولتا Volta : في هذه الحقبة كان اليساندرو فولتا Alessandro Volta (1745 - 1827) منذ 1779 استاذاً في جامعة بافي وفي سنة 1771 اكتشف الألكتروفور electrophore ، وهي أول آلة كهربائية ذات تأثير، واسهل في الكثير من النواحي من آلات الحك أو الحت . وقد مكنته هذه الآلة ذات التأثير ، كما مكنت معاصريه ، من اجراء العديد من التجارب الجديدة . في سنة 1781 صنع الكترومتراً حساساً سوامه القش ، وهو تحسين لجهاز وضعه دو فاي Du Fay ، وحوله بنيت Bennet ، في سنة 1787 ، إلى الكترومتر ذي أوراق من ذهب . وفي سنة 1782 رقق فولتا الشفرة العازلة في « الكترو فور » إلى اقصى حد ، بحيث اصبحت طبقة بسيطة من الدهان تغطي سطحاً معدنياً . وهكذا تم له الحصول على المكثف . واصبحت الكلمة كلاسيكية ولكنه هو الذي وضعها . والآلة لا تختلف ، من حيث

المبدأ عن مربع فرنكلين Franklin الزجاجي . وبواسطة هذا المكثف المضموم إلى الالكترومتر، تم له فيها بعد التثبت مباشرةً من الكهرباء المحدثة بفعل تلامس المعادن .

نشير اخيراً إلى الايديومتر (أنبوب لتحليل الغازات) eudiomètre ، حيث تم له فيه، عن طريق الشرارات ، تركيب الماء .

وبعد 1792 فهم فولتا اهمية اكتشاف غالفاني : فأعاد تنفيذ تجاربه وقَبِلَ نظريته . وفي سنة 1793 لاحظ ، وهو يدقق في الملاحظات التي وضعها في سنة 1754 السويسري سولزر Sulzer أنه إذا وضعنا اللسان بين رقاقتين معدنيتين من معدنين مختلفتين ، موصولتين بواسطة خيط معدني ، نشعر بأحساس اسيدي أو حارق بحسب مرتبة المعدنين ، كما لاحظ اننا نحس نفس الاحاسيس إذا وضعنا فوق اللسان موصولاً يتصل بالقطب السلبي والايجابي في آلة كهربائية . هذه التجارب البسيطة اتاحت لـه وضع تصنيفه الكهربائي للمعادن .

وقد قاده هذا ، في نهاية 1793، إلى رفض نظرية الكهرباء الحيوانية التي قال بها غالفاني . وبين أن عضلات الضفدعة لا تتقبض إذا كان « القوس » الذي يسكر الحلقة الكهربائية مكوناً من معدنٍ وحيد مشوي تماماً .

أول بطارية كهربائية : في رسالة ارسلها فولتا إلى غرين ، وكتبها سنة 1796 نجد اوضح تعبير عن فكرته قبل اختراع البطاريات بقليل : « إن تلامس الموصلات المختلفة ، وخاصةً المعدنية منها . . . والتي نسميها موصلات ناشفة أو من الدرجة الأولى ، مع موصلات رطبة ، أو من الدرجة الثانية ، تنبه السائل الكهربائي وتعطيه دفعاً أو حفزاً . حتى الآن لا أستطيع الافصاح عن كيفية حدوث ذلك ، ولكن يكفي أن يكون هذا امراً واقعاً وامراً عاماً . وهذا الحفز سواء كان جذباً أو دفعاً أو حفزاً مهما كان نوعه ، يختلف وهو غير متساو ، سواء بالنسبة إلى الفرق بين المعادن أو بالنسبة إلى مختلف الموصلات الرطبة . . . من ذلك ، وفي كل مرة نضع فيها ضمن دائرة كاملة من الموصلات، إما موصلاً من الدرجة الثانية بين موصلين من الدرجة الأولى، مختلفين فيما بينهما، أو موصلاً من الدرجة الأولى بين موصلين مختلفين ايضاً من الدرجة الثانية، يحدث ، وبحسب القوى الغالبة ، إلى اليمين أو إلى اليسار تيارٌ كهربائي ، وتحوّل لهذا المائع ، لا يتوقف إلا بعد قطع الحلقة ، ثم يعود من جديد كلما أعدنا تشكيلها » .

والمبدأ لا يمكن استخراجه بأكثر من هذا الوضوح . ولكن المفاعيل الملحوظة بقيت ضعيفة : إنّ عضلات الضفدعة واحساسات الذوق فوق اللسان بقيت حتى ذلك الحين الكشاف الأكثر استعمالاً علماً بأنه في نفس السنة (1796) لاحظ فابروني Fabbroni من فلورنسا أنه إذا غطسنا في الماء شفرتين من المعادن مختلفتين، تتلامسان فإنّ احداهما ـ من الزنك مثلاً ـ تتأكسد، وفهم من ذلك أنه لا بدَّ هنا من وجود رابط بين الظاهرتين الكهربائية والكيميائية . أنه في بداية السنة 1800 اخترع فولتا بطاريته . وبدا زخم الظاهرات المرصودة مشهوداً وقد لفت انتباه العالم كله . وكانت اول نشرة عن اكتشاف البطارية قد وردت في رسالة موجّهة إلى السير جوزيف بنكس Joseph Banks رئيس الجمعية الملكية في آذار 1800 . ومن المعلوم ان جهاز فولتا هو بطارية ذات مزدوجات من الصحون من الزنك والنحاس المتلامسين

تلامساً مباشراً ، وكان كل مزدوج منفصلاً عن التالي بكرتونة رطبة .

الظاهرات الالكتروليتية وتفسيرها: في نفس هذه الرسالة يوجد التوضيح والتبيين ـ بواسطة الالكتروسكوب المكثف ـ لكون صفيحة من النحاس وصفيحة من الزنك متلامستين، تأخذان، عند فصلهما، النحاس شحنة سلبية والزنك شحنة ايجابية . « والكهرباء الحيوانية » التي قال بها غالفاني كان يمكن ان تسمى ايضاً « كهرباء معدنية » : لأنها لا تختلف في شيء عن الكهرباء العادية . وهناك رسالة مؤرخة في شهر آب سنة 1801 تركز ايضاً على هذه النقطة : « ان مفعول البطارية هو مفعول حاشدة كهربائية كبيرة جداً مشحونة ، ويتجدد شحنها دائماً وفي كل لحظة » .

وفي 7 تشرين الثاني و 20 منه من سنة 1801 قدم فولتا جهازه إلى « معهد فرنسا » Institut de France أمام بونابرت الذي منحه مدالية ذهبية . وهناك تقرير من بيوت Biot يذكر النقاط الأساسية في هذه المداخلة . في حين أنه أخذ بعض الوقت ، كان فولتا يستعمل ـ ودون تحديد دقيق ـ كلمات « دفعة من المائع الكهربائي » ، في هذا التقرير ظهرت بوضوح « قاعدة الدفعات أو التوترات » : إن معدنين تفصل بينهما معادن اخرى ، يتصرفان كما لو كانا على اتصال مباشر . والحلقة المغلقة المعدنية الخالصة لا يمكن ان تحدث تياراً . ويوجد في الرسالة ايضاً سلسلة من المعادن ذات الكهرباء الايجابية المتنازلة ، من الزنك إلى الفضة ، كما يوجد ايضاً ذكر للقياس (الذي يغلب عليه الطابع النوعي) قياس توتر التلامس .

ومع ذلك إن دور الموصل السائل ، أو من الدرجة الثانية ، لم يكن قد استخلص بعد بوضوح ، من وجهة النظر النظرية . ويبدو ان هذا الدور كان بالنسبة إلى فولتا دوراً سلبياً : فالسائل كان يؤمن بين معدنين اتصالاً وثيقاً ، يتيح مرور الكهرباء من معدن إلى آخر . وفي تلك الحقبة ، كان مفهوم الطاقة ما يزال مجهولاً من الناحية التطبيقية . وإذاً يجب عدم التعجب من الاكتفاء بالكلام عن قوة تعطي دفعة للمائع الكهربائي ، دونما تساؤل عن وجود حركة دائمة في هذه الصورة ، وكذلك التساؤل عن كلفة الحصول على هذه الشحنات وهذه التوترات المتجددة دائماً .

ومع ذلك فقد كانت المسألة محلولة . ففي نيسان سنة 1800 على الأقل اكتشف كارليسل Carlisle ونيكولسون Nicholson مصادفة ، تحلل الماء بواسطة التيار الكهربائي (ظهور الهيدروجين على قطب، واكسدة القطب الآخر) . وفي تشرين الثاني سنة 1800 عاد همفري دافي Humphry Davy ، وعمره 22 سنة إلى هذه التجارب ، واستلهم افكار فابروني Fabbroni واستنتج ما يلي :

« إن بطارية فولتا تعمل فقط عندما تكون المادة الموصلة التي تفصل بين الصفائح قادرة على اكسدة الزنك . والقوة التي تمكن البطارية من تحليل الماء ومن اعطاء صدمات يجب ان تتناسب مع كمية الأوكسجين الذي يمتزج في الزنك في زمن معين . ويبدو من المعقول الاستنتاج ـ رغم ان الوقائع المعروفة حالياً لا تسمح لنا اصدار تفسير صحيح ـ بان اكسدة الزنك في البطارية ، والتغييرات الكيمائية التي تنتج عن هذه الأكسدة هي بنوع من الأنواع سبب المفاعيل الكهربائية التي تحدثها هذه الصفائح . وفي ما بعد فكك دافي ، بواسطة التيار ، الصودا والبوتاس المذابين فاكتشف بالتالي

الصوديوم والبوتاسيوم . ويجمل هـذه البحوث حـول المفاعيـل الكيميائيـة للتيار الكهـربائي ولانتـاج التيارات بواسـطة التفاعلات الكيميائيـة ، أوصل دافي إلى الفكـرة القائلة « ان الجـذبات الكهـربائيـة والكيميائية تنطلق من نفس السبب » . ولكنه عرف ايضاً ، انه من اجل فهم هذه الجذبات ، لا بد من« وجهات نظر مختلفة وجديدة تماماً حول الأعمال الجسيمية » .

وطـور بـرزيليـوس Berzelius ، ابتـداءً من 1812 افكـار دافي Davy ، وصـاغ منهـا نـظريـة كهركيميائية للمادة ، باعتبار أن كل مزيج كيميائي هو اتحاد مكونٍ كهربائي ايجابي مع مكونٍ كهربائي سلبي . وقد كتب لهذه النظرية ، ـ الخاصة جداً بنوع من الأنـواع ، من وجهة نـظرنا المعـاصرة ـ ان تـطور وان تقدم خـدمات جلى ، ثم تصطدم بـاعتراضـات خطيـرة ، خاصـة من قبل الكيميـائيين العضويين ، وهي اعتراضات يثيرها بحق اكتشاف الألكترون والكنتا .

وظل هذا الحدث غامضاً : وهو ظهور نتائج التفكك ـ تفكك الماء مثلاً ـ فوق الأقطاب المعدنية الغاطسة في السـائل ، دون ان يتم العثور على اثارها في مكان آخر . وفي سنة 1806 ، تخيل غروتوس Grotthus ، ثم ديفي ، من جهته ، نظرية تتكهّن ببعض نظراتنا الحاضرة حول حركيـة الايون (H^+) والايون (OH^-) :

يمارس القطبان مفاعيلهما الجذبية والدفعية على الهيدروجين والأوكسيجين في جزيئات الماء الأكثر قرباً . فـ « المعادل » الهيدروجيني ، الذي يجذبه القطب السلبي ، ينبثق منه ويحرّر معادلاً أو كسيجينياً يدفعه نفس القطب عنه فيتّحد على الفور مع هيدروجين جزيء الماء المجاور ، ، وهكذا دواليك ، شيئاً فشيئاً حتى القطب الآخر الذي يكفي جذبه لاخراج الأوكسجين .
وبعد مضي عشرين سنة ، افترض اوغست دي لاريف Auguste de la Rive ـ من اجل توضيح تنـرعية الـظاهرات التي قـدمتها الحلول ـ ان المكـونين يسيـران باتجـاه معاكس من طـرف إلى آخر في السائل . وهذه الفكرة سوف يطورها فراداي ثم كلوسيوس Clausius وأخيراً آرهينيوس Arrhenius .

III - اكتشاف الكهرمغناطيسية

تجربة ارستيد Œrsted وصداها : يبدو أنه قد تم منذ الثلث الأول من القرن الثامن عشر ، رصد مغنطة الحديد بواسطة الصاعقة وأن هذا الحدث كان معروفاً ومشهوراً . وهذا ما أدى إلى البحث عن وجود رابط بين المغناطيسية والكهرباء . ولكن للأسف لم يكن ينظر إلاّ إلى الكهرباء المتوازنة ، بشكل عام . وقد ظلت هذه المحاولات بدون جدوى . وهذا ما حدث للتجارب الأولى التي قام بها ، بهذا الشأن ، وابتداءً من سنة 1807 ، هانس كرستيان ارستيد Hans Christan Œrsted (1777 - 1851) . ولكن، في سنة 1820 خطر لهذا الأخير «أن يمد قسماً مستقيماً من خيط (يمر به تيار تحدثه بطارية) فـوق ابرة مغناطيسية وعلى موازاة اتجاهها » .

فلاحظ أن الأبرة تترك موقعها ، وأن القطب الموجود تحت القسم من الخيط ـ الموصل الأقرب إلى القطب السلبي من الجهاز الغالفاني(غالفانومتر) تنحرف نحو الغرب . . . وإذا كان الخيط مركزاً بشكل افقي تحت الأبرة ، فإن المفاعيل تكون هي ذاتها ، تقريباً ، كما لو كانت هذه المفاعيل باتجاه معاكس .
ونشرت هذه التجارب ـ باللاتينية ـ في 21 تموز سنة 1820 في كوبنهاغن، ثم في المانيا ، وانكلترا

وفي فرنسا . وفُتِحَت الطريقُ في كل البلدان انصرف الفيزيائيون ، ومن بينهم بعض الأعاظم ، امبير ، اراغو ، بيوت Biot وفراداي ، إلى العمل . وفي آخر سنة 1820 ، اصبحت كل القوانين الكمية التي تحكم هذه الظاهرات معروفة . وفي ما بعد بعدة سنوات (1826) انهى امبير نظرية ظلت طيلة نصف قرن نموذجاً . في حين نشر فراداي سنة 1821 أول سلسلة من كتابه : « بحوث تجريبية حول الكهرباء » .

وفي ما يلي نعرض استنتاج ارستيد من ملاحظاته النوعية : « نعطي للأفعال التي تحدث في الموصل وفي الفضاء المجاور اسم « صراع كهربائي » . ولا يعمل الصراع الكهربائي إلا على الجسيمات المغناطيسية في المادة . . . هذه الجسيمات تقدم معارضة لمرور الصراع ولكن تُحمل في صدمة الأعمال المضادة . ويبدو سنداً للوقائع المعروضة أن الصراع لا يحصر بالخيط الموصل ، بل يشكل حوله كرة نشاط لا حدود لها . . . ويشكل زوبعة حول الخيط . . .

وكل الأحداث الملحوظة تفسر بسهولة إذا افترضنا ان القوة أو المادة الكهربائية السلبية ترسم حلزوناً إلى اليمين وتؤثر في القطب الشمالي . . . وإن المادة الكهربائية الايجابية لها حركة ذات اتجاه معاكس كما تمتاز بالتأثير على القطب الجنوبي دون التأثير على القطب الشمالي .

وهذه اللغة هي لغة ديكارتية وتقريباً لوكريتية Lucrétien ، كما انها بذات الوقت استباق إنما برسمة ميكانيكية لافكار بعض الفيزيائيين من القرن التاسع عشر الذين وصلوا إلى الذروة بأفكار فراداي ومكسويل علماً بأن التيارات لم تكن إلا خطوط زوبعة الحقل المغناطيسي .

وافترض ولاستون ، بعد ذلك بقليل أن كل خيط ممر لتيار كهربائي هو محور زوبعة وحيدة يجر معه القطب الايجابي للمغناطيسات ، وهذا ما بسط صور أورستد وذلك بحرمانها من تقابلها ومن مفهوميتها الميكانيكية للظاهرة ، كما مهد امام العمل الايجابي الذي قام به فراداي .

الدراسات الكمية الأولى . **القانونان الأوّليان** : جرت الدراسة الكمية للتفاعلات بين المغناطيسات والتيارات ، بشكل بسيط وكامل من قبل سافارت وبيوت (30 تشرين أول 1820) . وقاس هذان العالمان ذات تأرجح ابرة مغناطيسية تبعاً لبعدها (عن تيار مستقيم غير محدد) ووجدا أن القوة العاملة في الخط الموصل تتوجه عامودياً بالنسبة إلى الخط النازل من هذا القطب فوق الخط الموصل وأنها تتغير تبعاً عكسياً للمسافة .

من هذه التجارب والنتائج الحاصلة بعد ذلك بقليل على يد هذين الفيزيائيين بيوت وسافارت على خيوط موصولة ، استنتج لابلاس ما يسمى اليوم بقانون بيوت وسافارت ومفاده : يمارس مطلق عنصر من التيار ، أي عنصر من خيط ds المحثوث بتيار i ، على قطب الشمال المعادل للوحدة ، والواقع على مسافة r قوة تساوي dH عامودية على السطح المار بالقطب وبالعنصر ds (السطح r، ds) وقيمته : $dH = i\, ds\, \sin\theta / r^2$ (1) باعتبار Θ تساوي زاوية السهمين r و ds . إن هذه القوة (أو الحقل المغناطيسي الأولي) تتوجه نحو يسار « ناظر امبير » المسطح فوق ds باتجاه التيار i ناظراً إلى القطب .

حدث مهم : هذه القوة الأولية لا تتبع المستقيم الذي يجمع بين القطب والعنصر ، إنّها « مفعول

اعتراضي » . ولاحظ ارستد عاجلاً أن نقيض القطب المغناطيسي يجب أن يؤثر على عنصر من عناصر التيار ، وان القوس الغالفاني (وهو قوس تحصل سنة 1820 على يد لاريف La Rive بين قطبي الكترود ، الفحم) يجب أن يتحور بفعل المغناطيس، وهذا امر قد حصل التثبت منه سنة 1821 من قبل داڤي : وهذا الأثر كان عامودياً على الأثر المتحصل لقطب مغناطيسي ، أي لما نسميه اليوم الحقل المغناطيسي أو الشحن : وهو إذاً قوة اعتراضية

في الهواء يمارس الحقل المغناطيسي H (أو القوة التي تعمل على قطب شمالي يساوي الوحدة) (في الدراسات الحديثة الأكثر دقة ، ليس الحقل H بل الحث B هو الذي يظهر في هذه المعادلة، وفي الوحدات الكهرمغناطيسية يختلط السهمان عملياً في الهواء) على عنصر من التيار ids يشكل مع H زاوية Θ، قوة (dF) عامودية على مسطح السهمين H و ds لها قوة مطلقة تساوي $dF = H\ i\ ds\ \sin\theta$ (2) تتجه نحو يسار ناظر امبير الذي ينظر باتجاه الحقل .

هذه الصيغة المعاكسة ، بنوع من الأنواع للصيغة السابقة ، تعزى غالباً إلى لابلاس . وعلى حدّ علمنا نجدها مفسرة لأول مرة ، بشكل تجريدي نوعا ما في مذكرة لأمبير وفيها يحسب هذا الأخير مفعول حلقة كهربائية مغلقة على عنصر من عناصر التيار (راجع المعادلة (2bis)، ص 216) .

إن وجود هذه المفاعيل الأولية المعترضة قد لفت انتباه الفيزيائيين في مطلع القرن التاسع عشر وأزعجت أولئك الذين كانوا متعلقين بوجهة نظر نيوتن لأن هذا المفعول كان مناقضاً لمبدأ تعادل الفعل وردة الفعل . ولاحظ امبير Ampère بسرعة أنه رغم هذا الشكل الاعتراضي كانت ردات الفعل بين حلقتين مغلقتين أو داخل حلقة مغلقة على قطب مغناطيسي ، تتوافق مع هذا المبدأ ، علماً بأن كل الحلقات الكهربائية المدروسة في ذلك الزمن كانت مغلقة . ومع ذلك فقد كان من الطبيعي أن يحاول « رد هذه الحركات ، عن طريق الحساب إلى قوى تعمل دائماً بين جزئين ماديين تبعاً للمستقيم الذي يجمع بينهما بحيث أن الأثر الحاصل بفعل احد الجزئين على الآخر يساوي ويتعارض مع الفعل الذي يحدثه هذا الأخير ، وبذات الوقت ، على الأول» (لقد اشرت إلى العبارة « بذات الوقت » للتذكير بأنهم كانوا يفترضون مع نيوتن وجود انتشار آني لهذه المفاعيل) .

IV - عمل « امبير » «Ampère»

في 18 ايلول 1820، واثناء اجتماع اكاديمية العلوم التي تلت الجلسة التي اعلِنَت فيها ، في فرنسا ، تجاربُ ارستد Œrested ، اعلن اندري ماري امبير André - Marie Ampère (1775 - 1836) ملاحظاته الأولى حول المفاعيل المغناطيسية للتيارات ؛ وبيّن للاكاديمية ان التيارات الكهربائية تتجاذب وتتدافع على التوالي وبحسب اية قوانين : اكتشاف ما سماه بالكهرديناميك ، وهو اكتشاف اساسي سوف يستبعد من العلم الموائع المغناطيسية .

وانطلاقاً من هذا التاريخ لم يتوقف امبير عن تقديم ملاحظاته حول الالكتروديناميك إلى الاكاديمية ، وهي ملاحظات نشرت سنة 1827 في سلسلة من المذكرات ما تزال قراءتها حتى اليوم مفيدة جداً : ففيها يتجلى تطور فكره ، وكيف كان يتحقق من كل نتيجة من نتائج حساباته بواسطة التجربة

المباشرة . وإذا كان قانون التفاعل بين عناصر التيار ، هذا القانون الذي وضعه بعد 4 ك[1] سنة 1820 ، واعتبره المفتاح الرئيسي لكل عمله ، قلما كان له شأن عندنا ، فإن عبقريته تتجلى فيه اين ما كان كما أن النتائج المهمة تكثر فيه .

التقنية التجريبية : إن اسلوبه في العمل وتوجه فكره يبدوان بوضوح منذ مذكرته الأولى التي صدرت في تشرين الأول سنة 1820 . وفيها وصف عدداً كبيراً من هذه الأجهزة البسيطة جداً الخفيفة والحساسة ـ مثل خيوط النحاس والمحاور وفناجين الزئبق ـ التي زينت « طاولة امبير » واتاحت له عن طريق التجارب التوازنية « وطرق الصفر » ، دون أي قياس كمي حقيقي ، أن يصنع القوانين الأربعة في الكهرديناميك والتي سوف تكون القاعدة العملية لنظريته .

إن زخم التيارات التي تجتاز موصلات امبير تحدد بواسطة « غالفانومتر » ، وهو خط بسيط ممدد افقياً تبعاً للهاجري المغناطيسي ويعلو بوصلةً . إن بعضاً من هذه الأجهزة تتضمن ما سمي فيما بعد بالملفّات اللولبية Solenoïdes : «كتب يقول : لقد اوصيت على صنع مراوح من خيط القصدير ، لتقليد كل مفاعيل المغناطيس وقد نجحت » .

نظرية التيارات الجسيمية : لقد ثبت فكر امبير بوضوح منذ استنتاجات هذه المذكرة الأولى : « المفعول المتبادل بين تيار كهربائي . . . ومغناطيس وكذلك مفعول مغناطيسين يدخلان معاً في قانون المفعول المتبادل لتيارين كهربائيين . . . مع الاحتفاظ فوق السطح وفي داخل المغناطيس بعدد من التيارات الكهربائية ضمن سطوح متعامدة مع محور هذا المغناطيس بحيث يمكن تصور خطوط غير متقاطعة فيما بينها وتشكل منحنيات مغلقة ؛ بحيث أنه قلما بدا لي امكان التشكيك بعدم وجود مثل هذه التيارات حول محور المغناطيسات » . وفيما بعد كتب يقول : « إن جزئيات الفولاذ تتميز بخاصية . . . انتاج نفس المفعول الكهربائي المحرك الموجود في بطارية فولتا . ولكن هذا المفعول لا يمكن أن يحدث أي توتر كهربائي » .

هذا التقريب من البطارية مفيد جداً . وامبير ـ كما فولتا في نظريته عن الكهرباء بالتماس ـ لم تصدمه هذه الفرضية القائلة بنوع من الحركة الدائمة « الماكروسكوبية » التي تكون المغناطيسات مركزها . وقد فاتته فكرة الطاقة وحفظها وكذلك الفكرة الدقيقة عن المقاومة الكهربائية ، والتي كان يعرفها من قبل بريستلي Priestley وكافنديش Cavendish ودافي Davy .

ومع ذلك وبعد عدة أشهر ، تخلى عن هذه الفرضية : لا يوجد في المغناطيسات الناتجة عن التيارات الدائمة الماكروسكوبية حركة دائمة بل تيارات جسيمية تدور حول كل جزيء من جزيئاتها . وهذه الفرضية حسب قول امبير ، اعطيت له من قبل م . « فرنل » M.Fresnel الذي وجد عدة مكاسب في أن يرى التيارات الكهربائية المتولدة من المغناطيس على هذا الشكل . وبعد تردد قصير اعتمد هذه الفرضية نهائياً وقدم عنها عرضاً وافياً (جواب إلى فان بيك Van Beek ت[1] 1821) .

إن افكارنا حول المغناطيسية لم تتغير بعد ذلك . ولكن إذا كانت هذه الصورة للتيارات الجسيمية قد تبدو مقبولة ، حتى في عقول تعرف تماماً مبادىء الترموديناميك ، إذا كانت نظرية الألكترونات قد

اوضحتها ، فقد كان لا بد من مرور يتوجب قرابة قرن حتى يقوم عالم فيزيائي هو اهرنفست Ehrenfest ليرى أن مثل هذه الحركات الجسيمية المنتظمة تتنافى مع الميكانيك الستاتيكي الكلاسيكي ، وانها أي هذه الحركات لا يمكن أن توجد وأن تستمر إلّا لوجود كانتا (quanta) .

ولعدة أسباب واجهت نظرية الكهرديناميك المغناطيسية اعتراضات من قبل فيزيائيين معاصرين لدافي ولبيوت Biot بصورة خاصة . وكان هذا الأخير وقد اطلق على مذكرة تتضمن بحوثه مع سافرت Savart عنوان : « حول المغنطة المعطاة للمعادن بواسطة الكهرباء المتحركة » كان أقرب إلى نيوتن من امبير فقد كان يريد رد كل شيء إلى المواقع المغناطيسية وإلى قانون كولومب .

وفي رأيه أن المفاعيل الكهرديناميكية ليست إلا نتائج ثانوية لمغنطة حقيقية يعطيها التيار الكهربائي للموصلات المعدنية » . وفي ما بعد كتب يقول : « إن السيد امبير مضطر إلى اعتبار كل المفاعيل المتبادلة بين الأجسام المغنطة وكأنها وليدة تيارات فولتا تدور حول جزيئات ، كما تدور اعاصير ديكارت ، مما يؤدي إلى تعقيد في الترتيبات وإلى افتراضات معقدة جداً بحيث يصبح التعقيد مستعصياً ، في حين أن هذه الظاهرات غير القابلة للحساب بحكم تركيبها ، عندما تجعل مرهونة بالمغنطة الجزيئية المفروضة عن طريق التيار الكهربائي ، لا تقدم شيئاً بذاتها لا يمكن تصوره بسهولة خالصة » .

ولم يتكلف امبير كبير عناء للاجابة بان فرضيات بيوت لا يمكن أن توضح وقائع وخاصة اعمالاً اعتراضية . ولكن وبعد اكتشاف حركات الدوران الدائم من قبل فراداي في نيسان سنة 1822 كتب يقول : « ان الحركة التي تستمر دائماً في نفس الاتجاه رغم الاحتكاك . . . والمحدثة بالفعل المتبادل بين جسمين يبقيان دائماً في نفس الوضع ، هي حدث بدون مثيل في كل ما نعرفه عن المادة غير العضوية . وبيّن أن المفعول المنبثق عن الموصلات الفولتية لا يمكن أن يعزى إلى توزيع خاص لبعض المواقع الساكنة في هذه الموصلات . . . » .

تركيبة **1827** : في مذكرة له بعنوان « النظرية الرياضية للظاهرات الكهرديناميكية المستخرجة فقط بالتجربة » (1827) أنهى امبير سلسلة نشراته حول الكهرباء والمغناطيسية . هذا العمل الكبير وهو عرض اجمالي لكل المداخلات التي حصلت في حزيران 1822 حتى تشرين الثاني 1825 ، هو بناء منطقي مدهش ومرتكز على الفرضية القائلة بوجود تفاعل نيوتني بين عناصر التيار ، وهو تفاعل متعلق بالمسافة ـ وهذا ما يميّزه عن القوى الكهرستاتية أو المغناطيسية ـ كما هو متعلق بالزوايا التي تحدثها العناصر السهمية للتيار ، فيما بينها ومع الشعاع السهمي الذي يفصلها . ولـلأسف ـ وامبير وعى ذلك ـ أن الآثار الأولية لا تخضع للتجربة إذ ، إذا كان من السهل قياس القوة المحدثة من تيار مغلق فوق قطعة صغيرة متحركة من حلقة كهربائية ، وهو تقريب لعنصر من عناصر التيار ، فمن المستحيل ، بآنٍ واحدٍ ، عزل اثنين من هذه العناصر ثم فصل مفعولها عن المفاعيل التي تُعزى إلى بقية اجزاء النظام . وبعض خلفاء امبير استفاد من هذا الحدث لكي يضيف إلى صيغته حول الحدود ، هذه الحدود التي تعطي إذا دمجت ضمن حلقة مغلقة ، مجموعاً عدماً : ان القوى الحاصلة لا تتعدل أو تتغير .

ومن التجارب الأربع الأساسية والبسيطة جداً ـ والتي تتناول كما يقول «امبير» نفسه

حالات التوازن الأربع ـ استنتج مبادىء ظلت مهمة :

المبدأ الأول : أن مفاعيل التيار تتعاكس عندما يعكس اتجاه هذا التيار .

المبدأ الثاني : (حول التيارات المتعرجة) ، ويقوم على توازي المفاعيل المحدثة فوق موصل متحرك بواسطة موصلين ثابتين واقعين على مسافة متساوية من الأول ، ويكون أحدهما مستقيماً والآخر مطوياً وملفوفاً بشكل ما .

المبدأ الثالث : « ان مفعول الحلقة المغلقة أو مفعول جملة من الحلقات المغلقة حول عنصرمتناهي الصغرفي تيار كهربائي يكون عامودياً على هذا العنصر » . وهو مبدأ يثبت الصفة الاعتراضية الجوهرية للعناصر الأولية وحدها ، والتي تعتبر قابلة للرفض والملاحظة .

المبدأ الرابع : إذا تساوى الزخم وثبت فإن تفاعلات عنصرين من عناصر التيار لا تتغير عندما تكون ابعادهما الخطية والمسافة بينهما متغيرة بذات النسبة .

إن التطبيق الأول الذي اجراه امبير حول صيغته تناول حساب مفعول الحلقة المقفلة C عندما يمر تيار كهربائي i واثره في عنصر من التيار (i'ds') .

وقد اضطر من اجل هذا إلى اجراء دمج للحلقة C ، مما قاده إلى ادخال مقدار ، اعتبره كمجرد مساعد رياضي ، وسماه الموجّه D للأعمال الكهرديناميكية للحلقة C عند النقطة التي يحتلها ds' .

ولكن هذاالموجّه D ليس شيئاً آخر ، في اللغة الحديثة ، غير الحقل المغناطيسي الذي تحدثه الحلقة C المعتبرة ممراً لتيار يعادل الوحدة . والصيغ التي وضعها من اجل المكونات الثلاثة ، مكونات D ، تستعمل اليوم لحساب حقل التيارات الثابتة .

وأخيراً حصل ـ تعبيراً عن القوة التي تمارسها C على ds' ـ على الصيغة التالية :

(2 bis) $$dF = 1/2\ (Di)\ i'ds'\sin\ \theta$$

وهذه المعادلة تماثل عملياً المعادلة رقم (2)(المار ذكرها سابقاً) ، باعتبار أن Di هي الحقل H .
إن العامل 1/2 يأتي من أن امبير قاس الزخم بالوحدات الكهردينامكية في حين أن المعادلة (2) كتبت بالوحدات الكهرمغناطيسية . اما الموجهُ D فيدخل تقريباً في كل حسابات هذا العمل . وهو يستعمل فيما يُستعمل لتحديد سمات «الملفّات اللولبية الكهردينامكية» لتبيان انها ـ في كمالها ـ كخصائص أو سمات المغناطيسات ، كما اسْتعمل أيضاً لوضع القاعدة العامة المسماة قاعدة « معادلة التيارات الكهربائية والوريقات المغناطيسية » (ان كلمة وريقة ليست من امبير) .

الاكتشاف المفتقد أو الفائت : نعرض فيما يلي حدثاً تاريخياً مُهماً : في سنة 1821 أي منذ بداية بحوثه ، قام امبير بتجربة كان موضوعها « معرفة امكانية انتاج تيار كهربائي بأثر من تيار آخر » . وهذه المسألة كانت الموضوع الشاغل لدى الكثير من علماء الفيزياء في تلك الحقبة ، وقد حاولوا عبثاً حلها . في هذه الأثناء لاحظ « امبير » وزميله الجنيفي أوغست دي لاريف Auguste de La Rive فعلاً وجود تياراتٍ مولَّدَة محثوثة (في سنة 1822) .

كانت التعبئة أو التركيب بسيطاً : اطار دائري (حلقة مغلقة) من النحاس معلق بخيط في الداخل ، وفي السطح بكرة دائرية مسطحة حيث يمكن تمرير تيار. والكل كان قائماً في حقل لمغناطيس من الحديد بشكل حدوة حصان . وفي اللحظة التي يتم فيها التركيب يقطع التيار في البكرة « اما الحلقة المغلقة فكانت تجذب أو تدفع تناوبياً بفعل المغناطيس » .

وكتب « امبير » بعد ذلك باحدى عشر سنة إلى دي لاريف يقول : « للأسف لم تفكر لا أنت ولا أنا بتحليل هذه الظاهرة » .

هذا النوع من العمى الفكري لدى مثل هذه العبقرية الضخمة تفسر بأنه كان يتوقع انتاج تيارات « دائمة » بفعل التأثير (تيارات تشبه الشحنات الدائمة التي ترسلها الكهرباء الثابتة الستاتية) . وتعتبر الفكرة ذاتها المعروفة سابقاً هي السبب الأكيد تقريباً في فشل كل معاصري « امبير » والسبب في الفشل الأول لفراداي نفسه .

فرضيات : إن امبير قد علّق ولا شك اهمية كبرى على النتائج الايجابية الحاصلة من عمله . وإذا كان قد دافع بحماس عن نظريته حول الالكتروديناميك المغناطيسي فلأنّ : « الأدلة التي اسندها إليها تنتج بشكل خاص من امكانية رد ثلاثة انواع من الأعمال ، يثبت مجمل الأحداث أن سببها مشترك ، إلى مبدأ وحيد ، لا يمكن تخطيه أو الحياد عنه » .

هذه الحجة هي حجة ايجابية في جوهرها . ولكن امبير لا يمتنع اطلاقاً عن التأملات الأكثر جرأة والأقل دقة ، كما نشر عنها اكثرية معاصريه . من ذلك انه كتب في 8 نيسان 1822 ما يلي :

« لا يمكن التهرب من القول بأن حركة نوعين من الكهرباء في الخطوط ، تنتشر فيما حولها ، في المائع المحايد الذي يتكوّن من اجتماعهما والذي يملأ بالضرورة كل الفضاء المجاور » .

وفيما بعد كتب ما يلي: « في الحقبة التي كنت اهتم فيها بهذه الأفكار ، ارسل الي م. فرنل يعلمني ببحوثه الجميلة حول الضوء . . . وقد ذهلت من توافق الأفكار التي يعتمدها ، مع الأفكار التي خطرت لي فيما يتعلق بسبب الانجذابات والردود الالكتروديناميكية » . وبعدها تأتي صور ديكارتية . ولكنه في الخلاصة أورد ما يلي : «لم أخف عن نفسي انه نظراً لانعدام الوسائل من اجل حساب كل مفاعيل حركات الموائع ، فإن هذه الأفكار كانت غامضة جداً لتتخذ كقاعدة لقانون يمكن التثبت من صحته بتجارب مباشرة ودقيقة . ولهذا اكتفيت بتقديم هذا القانون كواقع مرتكز على الملاحظة فقط » .

التطبيقات الأولى : نذكر ايضاً اكتشافاً عملياً مهماً وتقدماً تقنياً : في ايلول 1820 ، لاحظ اراغو مغنطة الحديد بالتيارات فاخترع المغناطيس الكهربائي . وبذات الشهر خطر لشويغر (Sehweigger) أن يضع الأبرة الممغنطة داخل إطار ، بكرة مسطّحة يجتازها التيار ، وسمي هذا الجهاز « المضاعف » ، واصبح هذا المضاعف حساساً تجاه تأثير بطارية كما هو الحال في عصب الضفدعة » .

V - قانون اوهم OHM

قدم امبير التعريف الكهرديناميكي لزخم التيار ، وبيّن ، في معادلاته ، كيف يمكن رد قياس إلى

قياس قوته وبعض اطواله . ومن جهة اخرى بدأ كافنديش في استخراج مفهوم درجة الكهرباء في موصل متوازن ، وربط بواسون درجة الكهرباء بالدالة V التي قال بها لاغرانج ولابلاس . واصبحت هذه الدرجة فيما بعد الشيء الذي سمي بالزخم الكامن Potentiel . وبصورة مستقلة عرّف فولتا - بشكل نوعي أو ما يقرب من ذلك - التوتر الكهربائي ، كما طور « امبير » ، في مذكرته الأولى لسنة (1820) هذه الرؤية ، مميزاً بشكل واضح مفهوم الضغط tension أو التوتر عن الزخم intensité . ولكن كانَ ينقص غالبية الفيزيائيين وخاصة امبير ، الفكرة الواضحة عن المقاومة Résistance ، كما كان ينقصهم العلاقة الممكنة بين الضغط في بطارية والزخم في التيار الذي تنتجه هذه البطارية في موصل ، وطبيعة هذا الموصل .

وكان العلماء في بريطانيا اكثر تقدماً . ففي سنة 1767 كان بريستلي قد حاول اجراء بعض التجارب التي من شأنها التعريف بالفرق القائم بين القدرة على الايصال في مختلف انواع المعادن . وقد استعيدت هذه التجارب ووسعت من قبل كافنديش دون أن تُنشر (راجع مجلد 2 القسم 3 ، الكتاب 2 ، الفصل 3) . وأخيراً بيّنَ دافي عن طريق غير مباشر تماماً ، في سنة 1821 ، أن القوة الموصلة في خيط معدني تتناسب مع نتيجة قسمة اتساع مقطعه على طوله ، بصرف النظر عن شكل هذا الخيط الموصل

وهذا كل ما كان يعرف في تلك الحقبة . وكانت المقاييس الكمية لمفاعيل البطاريات صعبة بسبب عدم استقرارها ونذكر بهذا الشأن ان ريتر لاحظ في سنة 1803 استقطابية قطبي البطارية (éctrodes) : فلو فرضنا وجود بطارية من معدن واحد ذات صحون من الفضة مفصولة فيما بينها بصحون منَ القماش الندي ، يقطعها تيار كهربائي لفترة من الزمن ، فعندهـا تصبح بعد فتح الحلقة بطارية « ثانوية » قادرة على اعطاء تيار معاكس للأول .

وأساء ريتر فهم هذه الظاهرة . ولكن فولتا فسرها في سنة 1805 بتراكم غازات الالكتروليز فوق سطوح الصحون ، ثم تحاول هذه الغازات فيما بعد أن تعود ثانية إلى الامتزاج عبر السائل . وكان هذا العمل بداية البحوث التي أدت فيما بعد إلى بناء بطاريات « غير قابلة للاستقطاب » impolarisable بيكريل Becquerel 1829 ، دانيال 1837 ثم بونسن Bunsen و1841 ثم بطاريات من الغاز (غروف Grove , 1839) ، وحاشدات (بلانتيه Planté ، 1860) . وقد أصبح الاختبار أكثر سهولة ودقّة حين اكتشاف ت . ج . سيبك للمفاعيل الحرارية - الكهربائية ، أي إنتاج تيارات في دارّة (حلقة) مكوّنة من معدنين تكون لحمتاهما تحت درجتي حرارة مختلفتين (1821 ، نشر سنة 1823) . هذا الاكتشاف الذي طوّره بلتية Peltier في سنة 1834 كانت له أهمية نظرية وعملية بآن واحد : فقد بين هذا الاكتشاف - بحسب التعبير الحديث - أنه بالامكان تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية ، بصورة مباشرة ، ومن جهة اخرى ، ولما كان بالامكان المحافظة على درجات حرارة التلحيمات (Soudures) الحارة والباردة ، فقد اتاح (هذا الاكتشاف) بناء أو صنع بطاريات حرارية كهربائية كاملة الثبات . وأخيراً اعطى هذا الاكتشاف طريقة قوية وحساسة لقياس درجات الحرارة .

وبدأ جورج سيمون أوهم (1787 - 1854) تجاربه حول التيارات الكهربائية 1825 . واستعمل يومئذٍ بطارية فولتا . وفي السنة التالية استبدلها بعناصر حرارية - كهربائية من النحاس والبزموت،

وهكذا توصل إلى وضع قانونه : (3) $i = E/(R + r)$ وفيه (i) = زخم التيار ، مقاساً أو ملحوظاً بواسطة انحراف ابرة غالفانومتر. وتمثل (E) = توتر البطارية الذي يتناسب مع عدد عناصرها التسلسلية. اما (R) فهي المقاومة وهي تتناسب مع هذا العدد . واما (r) فتساوي مقاومة الحلقة الخارجية المتعلقة، كما اثبت ذلك داڤي، بطبيعة هذه الحلقة واحجامها .

إن مفهوم المقاومة وخاصية المقاومة (Résistivité) وكذلك معاكساتها تتحدد بدقة . والقياس ، بالقيمة النسبية - قياس هذه الكميات يصبح سهلاً . وكذلك قياس كميات التوترات التي نسميها القوى الكهرمحرِّكة في البطاريات .

وفي سنة 1827 عثر أوهم على قانونه في (Die galvanishe Kette mathematisch bearbeitet) عن طريق الحساب وانطلاقاً من فرضيات هي مجرد نقلٍ للفرضيات التي قام بها في سنة 1822 فورييه Fourier في كتابه « النظرية التحليلية للحرارة » إلى ميدان الكهرباء : إن زخم التيار ، أو الدفق الكهربائي هو مثيل الدفق الحراري ، وهو ثابت في النظام الدائم . ومشابه درجة الحرارة أو مثيلها هو ما يسميه اوهم : القوة الالكتروسكوبية في نقطة معينة .

وقدم فرضية مفادها : « ان الجزيء المكهرب لا يمكن ان يعطي كهرباء إلا إلى الجزيئات المجاورة أما ضخامة الدفق بين جزيئين متجاورين فيتناسب - مع بقاء الاشياء على حالها - مع الفرق بين القوى الالكتروسكوبية التي يمتلكها الجزيئان ، - ووفقاً للشكل الذي هو سائد في نظرية الحرارة - باعتبار الدفق الحراري متناسباً مع الفرق في درجات حرارة هذه الجزيئات .

« أما التوتر (أو القوة المحركة) فتُعرّف وفقاً للمبدأ التالي : عندما يتلامس جسمان ، يحصل في نقطة التماس خرق دائم في قواهما الألكتروسكوبية » .

ولكن من ناحية نظرية الحلقات الكهربائية ، كل شيء يبدو واضحاً تماماً . إنما ينقص فقط الرابط الصحيح بالكهرباء الجامدة أو الثابتة . واعطى أوهم تعريفاً كهربائياً ثابتاً (الكتروستاتيك) للقوة الالكتروسكوبية ، أو - بصورة اولى - وصفها بشكل مختصر ووصف قياسها بواسطة الكتروسكوب .

ولكن هذا الأخير هو مجرد سطح للتجارب « ومن حجم صغير جداً ، بحيث أنه عندما يوصل مع القسم من الموصل (المكهرب بالتيار) المراد اكتشافه ، فبالامكان . . . اعتباره مستبدلاً بهذا القسم ، في حين أنه إذا حصل واختلفت القوى الكهرسكوبية (في هذا السطح التجاربي) المقاسه بالطريقة التي وصفتها (بالقوة التي تضغط على نوع من ميزان كولومب) بالنسبة لمختلف النقاط الملموسة ، فإنها تظهر الفروقات الموجودة في الحالة الكهربائية في هذه النقط »

والأمر يتعلق هنا بقياس زخم سطحي . ويبدو أن أوهم قدم ما هو مفهوم القوّة الالكتروسكوبية بمفهوم الزخم الكهربائي .

إن قانون اوهم قد تثبت كمِّياً ، من قبل فكنر (Fechner) سنة 1829، ثم سنة 1837 من قبل بويي Pouillet . وقد استخدم هذا بوصلته - بوصلة المُماسات - التي تعطي قياساً دقيقاً للزخومات ، وذلك باجراء المطابقة الدقيقة بين الحقل المغناطيسي الأرضي وبين حقل الحلقة الكهربائية ذات الجيومترية المحددة تماماً

وكان لا بد من الانتظار حتى سنة 1845 حتى يماهي كيرشوف بين « القوة الكهرسكوبية » (أو القوة الكهربائية الحجمية) التي قال بها ج.س. اوهم وبين الزخم الكامن الكهربائي الذي قال به بواسون وغرين

VI - عمل فراداي Faraday

إن تاريخ ميشال فراداي (1791 - 1867) معروف : لقد كان حرفياً مساعداً « في الاتصال » تواقاً إلى التعلم ، ثم التحق كمستمع لمحاضرات « المعهد الملكي » . وقَبِلَهُ هـ. دافي Davy في مختبره سنة 1819 ، وصدرت أول نشرة له في الكيمياء سنة 1817، وفي الفيزياء سنة 1821 . وخلف دافي سنة 1827 ، واصبح احد اكبر علماء الفيزياء في كل الأزمنة ؛ ولم تتوقف سلسلة بحوثه الفخمة « البحوث التجريبية في الكهرباء » إلا سنة 1855 . ومن بين اعماله الأخرى يمكن ذكر : تقطير الكلور وغيره من الغازات (1823) ، اكتشاف البنزين (1824) صنع الزجاج الثقيل أو البوروسيليكات الرصاصي (1825 - 1829) .

الدوَرانات الكهرمغناطيسية : لقد دلت أولى « البحوث التجريبية » (ايلول 1821) « حول الحركات الجديدة الكهرمغناطيسية ، وحول نظرية المغناطيسية » إن مطلق قطب مغناطيسي يمكن أن يدور بشكل لا متناهٍ حول تيار كهربائي ، وأنه بالعكس يمكن لقسم من حلقة كهربائية ، متحرك ؛ بفضل اتصال منزلق ، ان يدور حول قطب .

وكان الجهاز بسيطاً للغاية : وعاء مملوء بالزئبق ، ومغناطيس نصف غاطس ، بحيث يخرج من السائل فقط قطب واحد أما القطب الآخر فيبقى مثبتاً في محور الجهاز . ويدخل التيار من اسفل الإناء ويخرج من خلال خيط غاطس في الزئبق : والمغناطيس المائل هو الذي يدور مرة حول الخيط العامودي ، ومرة يدور الخيط المائل ، ملامساً السطح الزئبقي ، حول المغناطيس العامودي .

وبعد ذلك بقليل ارسل فراداي احد اجهزته إلى امبير - مما يعطي فكرة عن تعاون العلماء ، في كل البلدان ، في ذلك الزمن . واعاد امبير هذه التجارب ، وصنع آلاتٍ جديدة ، ورصد ، ضمن شروط مماثلة ، لما لم يستطع فراداي الحصول عليه ، دورانَ المغناطيس على نفسه ودوران الموصل الفولتاوي حول محوره (ك[2] 1821) .

واعتبر مغناطيس فراداي وخيطه العائمان ، اول المحركات الكهرمغناطيسية . وصنع بارلو Barlow ، في آذار 1822 جهازاً أشبه بموتوراتنا الحديثة : وهو دولابه المسنن الغاطس - من أسنانه - ضمن حمام من الزئبق ، والدائر في حقل مغناطيسي بشكل حدوة حصان ، عندما يمر تيار من مركزه نحو اطرافه (لقد صنع الفيزيائي الروسي ب.س جاكوبي Jacobi ، في سنة 1834 موتوراً كهربائياً ذا مغناطيسات كهربائية . وفي سنة 1839 ، طور على النيڤا Néva باخرة بمحرك كهربائي) .

أما الملاحظات التي استخلصها فراداي من هذه التجارب فكانت جريئة : فهي تعبر عن الهامه من هذه الظاهرات كما تدل على اتجاهات فكره الطبيعية .

وعلى هذا كتب إلى دي لاريف La Rive في ايلول 1821 : « اجد أن الجذبات والردات ، المعتبرة عادةً بين الخيط الموصل والأبرة المغناطيسية هي مجرد أوهام » . وفيما بعد كتب يقول : « إن جذبات

وردات خيوط م . امبير ليست نتائج بسيطة بل معقدة ومركبة . » « ان القوى المتشابهة تتدافع ، أما القوى المتنافرة فتتجاذب . . . سواء وجدت في اقطاب المغناطيسات ، أم بدت على جانبي الخيوط الموصلة المتعارضة تماماً والمتقابلة » .

وكل هذا يبدو غامضاً نوعاً ما . لقد أخذت تظهر فكرة الانتشار التدريجي للمفاعيل الكهرمغناطيسية . ولكن امبير اشار بحق (ك' 1821) إلى أن كل الأحداث الملحوظة تفسر تماماً في نظريته حول الكهرديناميك . إن قانون بيوت وسافارت وعكسه يكفيان فيه .

الحث : في سنة 1824 ، قام فراداي بأولى تجاربه بحثاً عن التيارات المحثوثة دون أي نجاح . وتجددت حالات الفشل ثلاث مرات ، سنة 1825 و 1828 ، وهو فشل يشبه حالات فشل العديد من معاصريه . ولكن هذه التيارات قد ظهرت فجأة سنة 1822 أمام أمبير ولاريف اللذين لم يكونا قد رأياها من قبل .

وبعد ذلك بسنتين ، أي في سنة 1824، لاحظ أراغو ملاحظة مهمة : أن تأرجحات الأبرة الممغنطة المعلقة بخيط تتلقى تموتاً غير طبيعي عندما نضع تحتها صحناً من المعدن . وخطر له ، وهو يبحث عن فهم هذه الظاهرة ، أن يبرم الصحن : فأخذت الأبرة تبرم مع الصحن ، وبالعكس أدى برم الأبرة إلى دوران الصحن . ودرست هذه المفاعيل غير المرتقبة التي اعطاها اراغوا اسم « المغناطيسية الدائرية » ، من كل جانب ، وحتى من الناحية الكمية . ولكنها ظلت طيلة سبع سنوات غامضة نوعاً ما . وقُبِلَ مع اراغوا ودوهاميل ، أنها تعود إلى تفاعلات بين المغناطيس والأقطاب التي يخلقها هذا المغناطيس (بسبب حركته ؟) في الصحن . واليوم يبدو لنا أنه كان من السهل نوعاً ما ـ وبالاستناد إلى افكار امبير ـ تصور أن الحركة تخلق فيه تيارات كهربائية . ولكن هذا التفسير ربما بدا متعارضاً مع أفكار سابقة راسخة . وكان لا بد من انتظار فراداي كي يقدمها بعد اكتشافه للتيارات المحثوثة(آب1831) ، وهو اكتشاف منشور ضمن السلسلة الأولى « من بحوث تجريبية » المقدمة إلى « الجمعية الملكية » (في 24 تشرين الثاني 1831) .

وأولى التجارب المكللة بالنجاح كانت رصد التيارات المحثوثة في حلقة تتضمن غالفانومتراً عند فتح وغلق حلقة مجاورة . وكان لكُ خيوطٍ موصلةٍ معزولةٍ حول ذات الحلقة المكونة من حديد ابيض (صورة 7) هو الذي عرّف فراداي ، حالاً ، بوجود ظاهرة مؤقتة مرتبطة بتغير الشروط المغناطيسية التي توجد فيها الحلقة المحثوثة .

وتتالت التجارب عندها بسرعة : الحث عن طريق اقفال وفتح الحلقة المغناطيسية ، التي حولها قد لُفّت البكرة (24 ايلول) ، بواسطة التيارات بدون حديد (أول تشرين أول) ، أو بواسطة تقريب مغناطيس (17 تشرين أول) . وفي 28 تشرين أول ، تصدى فراداي « للظاهرة المغناطيسية المسماة ظاهرة أراغو » . وتركيب هذا الجهاز كان عكس تركيب جهاز بارلو Barlow : دولاب من النحاس (غير مسنن) موضوع بين قطبي مغناطيس بشكل حدوة حصان ، وكان هناك خيطان موصولان باطراف غالفانومتر ، احدهما ينطلق من وسط الدولاب ، والآخر ينزلق فوق اطرافه وعند وضع الجهاز في حالة دوران ، تأخذ ابرة الغالفانومتر بالانحراف .

وهكذا وُجِدَ أولُ مولد للتيار المستمر ، الذي يحول ، بصورة مباشرة ، الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية . ومن المعروف أن نفس هذه الآلة يمكنها ان تعمل كموتور . وإذا فقد كانت قابلة للتعاكس .

في السنة التالية ، أي في سنة 1831 ، وضع بيكسي (Pixii) ثم ، بصورة مستقلة ، دال نغرو dal Negro ، مولدات ذات تيار متناوب : مؤلفة من مغناطيس بشكل حدوة حصان يدور في مواجهة بوبين مبروم فوق حديدة بشكل حدوة حصان . لقد كانت التيارات الحاصلة مشهودة . وفي سنة 1833 ، دوَّر ريتشي Ritchie البوبين بدلاً من المغناطيس ، وقوّم كلارك Clarke ، في سنة 1836 التيار المتناوب بواسطة مبدِّل (Commutateur) .

وفي سنة 1866 فقط استطاع الانكليزي وايلد Wilde أن يستعيض عن المغناطيس بمغناطيس مكهرب محثوث ومحفور بصورة اضافية بواسطة بطارية . واخيراً في سنة 1867 ، استخدم ورنر سيمنس Werner Siemens تحويراً مأخوذاً عن الآلة بالذات ، لكي يحثّ المغناطيس المكهرب ، وحوَّل ، بصورة نهائية المغناطيس إلى دينامو . اما حلقة باسينوتي Pacinotti فتعود في تاريخها إلى سنة 1860 ، وحلقة غرام Gramme تعود إلى سنة 1868 .

وقد اعترف فاراداي ، في مذكرته الأولى هذه أن هذه الظاهرات تخضع لقانون عام : قانون « بسيط جداً ، وان صعب شرحه » . وهي تتعلق باسلوب قطع الموصل للمنحنيات المغناطيسية . . . وقصد بهذا خطوط القوة . . . التي ترسم في داخل حناتة الحديد ، أو التي تلامس ابرة مغناطيسية صغيرة جداً » .

وفيما بعد نجد هذه الجملة ، التي هي ، بدون أدنى شك ، الأصل في معادلتين اساسيتين عند مكسويل : « تدل هذه النتائج على أن القدرة على حث التيارات الكهربائية ، تجري بشكل دائري ، بفعل حاصلة مغناطيسية ، أو محور قوة ، تماماً كما تحصل المفاعيل المغناطيسية الدائرية بفعل التيار الكهربائي » .

وفي السلسلة الثانية من « بحوث » (لث² 1832) تصبح التجارب اكثر ميلاً لأن تكون كمّية ، وتصبح النظرية اوضح : « تُشكل حلقة من خطين مبرومين احدهما على الآخر ، ملحومين معاً في احد طرفيهما ، وموصولين عند الطرف الآخر بحدي غالفانومتر . ومهما كانت طبيعة هذين الخطين ، عندما يجتازان معاً نفس خطوط القوة ، عندها لا يمر أي تيار : إن حركتهما في الحقل تخلق فيه توترات تتعادل ؛ فإذا ربطت ، كُل على حدة ، بالغالفانومتر ، وضمن نفس الشروط ، تصبح حالات الزخم المقاسة متعاكسة مع قوى المقاومة » .

وإذاً فالظاهرة الأولى ليست خلق تيار ، بل خلق « قوة كهربائية محركة تحثيثية » مستقلة عن طبيعة وعن خصائص الحلقات . وهذه القوة لا تتعلق ، إلا بحركة نسبية تعود إلى الموصل ، بالنسبة إلى المغناطيس المرسل أو الحاث ، أو ، بصورة اعم ، بالنسبة إلى خطوط القوة . وهنا يجب أن نرى اصلاً من الأصول البعيدة لمبدأ النسبية ـ التي يبدو أن فراداي كان قد شعر بها . ومن جهة اخرى وعند

اغلاق الحلقة البائَّة « يتوجب النظر إلى الخطوط المغناطيسية وهي تتحرك (إن جاز التعبير هكذا) عبر الخيط المكهرب . . . فهي أي الخطوط تتمدد نحو الخارج انطلاقاً من الخيط المكهرِب وتكون علاقتها بالخيط المكهرب هي ذاتها كما لو كان هذا الخيط يتنقل باتجاه معاكس عبرها » .

ويبدو إذاً أنه ، منذ بداية سنة 1832 ، عرف فراداي القانون الأساسي للحث ، هذا القانون الذي يحمل اسمه ، رغم أنه قد عانى من التعبير عنه بالكلمات . وبعد عشرين سنة وفي السلسلة الثامنة والعشرين من « البحوث » اصبح التعبير اكثر وضوحاً :

« عندما يتحرك خيط بصورة مستقيمة أو منحرفة عبر خطوط القوة . . . فإنه يجمع كمية القوى المتمثلة بالخطوط التي قطعها . وكمية الكهرباء المارة في التيار تتناسب مع عدد الخطوط المقطوعة » .

وفيما بعد كتب موضحاً افكاره حول خطوط القوة : « إن الكمية النسبية للقوة . . . في فضاء معين يُرمز إليها بتكاثفها(أي الخطوط)أو انفصالها » ونقول اليوم : إن كثافة خطوط القوة تمثل زخم الحقل . وعدد الخطوط التي تجتاز سطحاً معيناً يساوي الدفق .

وكل هذه الأفكار كانت واضحة جداً في ذهن فراداي . فقد كان مقتنعاً بأن صورة خطوط القوة تمثل حقاً الفعل المغناطيسي . وحده مفهوم القوة الكهربائية ـ المحركة لم يكن محدداً تماماً في ذهنه ، والكلمة لم ترد في هذه المذكرات .

وفي سنة 1834 فقط ، وبعد سنتين مخصصتين لدراسة الألكتروليز (أي التحليل الكهربائي ضمن سائل) اكتشف فراداي وهو يستعيد تجاربه الكهرمغناطيسية ، اكتشف التيارات الخارجة من جراء فتح واقفال الحلقات أي مفاعيل الحث الذاتي .

وقد كان سُبِقَ إلى هذه النقطة من قبل الأميركي جوزيف هنري Joseph Henry (1797 - 1878) هذا المهندس الفيزيائي النابغة كان مشغولاً منذ 1828 في تحسين المغناطيس الكهربائي الذي وضعه اراغو Arago لتطبيقه على التلغراف . وفي سنة 1832 لاحظ اثناء فتح واغلاق الحلقة الكهربائية شرارات تزداد حدتها كلما كان طول الحلقة اكبر . « وتزداد زخامة المفعول قليلاً عندما يكون الخيط مبروماً بشكل مروحة . . . ولم استطع التثبت من هذه الظاهرات إلا عندما افترضت أن الخيط الطويل المكهرب يقذف ، بفعلٍ منه على نفسه ، شرارةً عندما ينقطع الوصل » .
إننا بعيدون عن خطوط القوة المغناطيسية وعن الرؤية البعيدة التي تكونت عند فراداي وفي نشرة من سنة 1835 حيث قام جوزيف هنري بدراسة تجريبية كاملة جداً حول هذه الظاهرات، عرف انها حالة خاصة من حالات الحث الكهرمغناطيسي ونضيف أنه رصد في سنة 1838 التيارات المحثوثة بفعل تفريغ بطارية أي بواسطة الكهرباء العادية

الالكتروليز : في السلسلة الثالثة من « البحوث » 1833 أنهى فراداي التبيين الذي كان دافي وفولتا وآخرون قد بدأوا به حول ماهية الكهربائيات « المشتركة » والفولتية (نسبة إلى فولتا) . فأوضح بهذا الشأن التعريف التجريبي لكمية الكهرباء التي تنساب داخل حلقة في زمن محدد ، وذلك عن طريقين متلاقيين ، طريق الغالفانومتر وطريق الفولتامتر (وهي آلة ابتكرها فراداي واستخدمها في قياس

كمية المادة المفككة بفعل التيار)

وهكذا توصل إلى الاهتمام بظاهرات الالكتروليز التي خصص لها خمس سلسلات في « البحوث » (1833 - 1834) . ووضع بنفسه كلمة « الكتروليز » إضافة إلى مجموعة من الكلمات الجديدة مثل « الكاتود » ، و « الآنود » ، و « الايون » الخ . . . وذلك لكي لا يبتعد عن وصف موضوعي للظاهرات ، ومن اجل تفادي كل صورة نظرية مسبقة . فقد بدت له احدى هذه النظريات ، التي كانت سائدة يومئذٍ ، مشكوكاً بها : فقد كان مَنْ قَبْله يفترضُ أن تفكك المحلول لا يتم إلاّ بقرب القطبين اللذين يمر بهما التيار عبر المحلول : والقوى الضخمة للجذب والدفع التي يحدثها القطبان حول ذاتيهما كانت تبدو وحدها قادرة على التغلب على التآلف الكيميائي .

وللتأكد من قيمة هذا الرأي ابتكر تجربة يتم فيها « الالكتروليز » بين الكترودات من الهواء ، بواسطة تدفقات تمر عبر غازٍ بين السائل والرؤوس المعدنية . ولما كان قد لاحظ أيضاً في هذه الحالة تفككاً كيميائياً فقد استنتج أن : « القوة الحاسمة لم تكن في القطبين ، بل في السائل المتحلل » .

وقد ظن دائماً أن المفاعيل تنتشر تباعاً فافترض أن هذه القوة هي الحقل الكهربائي وبيَّن نظرية الألكتروليز التي لم تعد مقبولة اليوم ، إلاّ أنها قد لعبت دوراً مهماً في تطوير افكاره :

إن الحقل الكهربائي يبدأ باستقطاب جزيئات السائل المحلل (الالكتروليت) ، مما يعني تمزيق الرابط بين المكوّنين وهما : الايون السلبي والايون الايجابي . فإذا ضَعُف هذا الرابط ، اصبح انتقال الايون من جزيء إلى جزيء مجاور له يتم بسهولة اكبر عن طريق جذب ايون معاكس منتمٍ إلى هذا الجزيء الأخير فيصبحَ هو بذاته نصف محرر . وهكذا وبالتقريب يحصل تفكك واعادة تركيبٍ للجزيئات .

وبالاجمال وعن طريق فكرة التكثيف الكهربائي المسبق ، استطاع فراداي أن يغير وان يكمل نظرية غروتوس Grotthus . وهكذا توصل إلى تفسير افضل تفوق به على سابقيه للوقائع المرصودة ، وخاصة لظهور مركبات ، من جراء التفكك ، جديدة ، عند الالكترودات فقط .

ونحن لن نضع هنا صياغة للقوانين الكمية المعروفة جيداً والتي تحكم عملية « الالكتروليز » التي وضعها فراداي بواسطة تجارب ذات بساطة وذات مهارة متناهيتين .

نذكر فقط بعضاً من استنتاجاته : « ان ذُرات المادة تبدو بشكل من الأشكال مزودة بقدرات كهربائية أو أنها تنضم إلى هذه القدرات التي تُعطي للذرات خصائصها الأكثر تميزاً . وبصورة خاصة تآلفها المتبادل » . ثم يوضح فيقول : « إن الكميات المتساوية (أو المعادلات الكيميائية) من الأجسام هي مجرد كميات من هذه الأجسام تحتوي نفس الكمية من الكهرباء . . . أو ، إن نحن اعتمدنا النظرية أو علم الصيغ الذرية ، إن الذرات في الأجسام التي تتساوى فيما بينها لها أو فيها كميات متساوية من الكهرباء هي مندمجة في هذه الأجسام بشكل طبيعي » . وعلى الرغم من أن فراداي قد جاهر بالدفاع عن نفسه دائماً ضد فكرة الذرة فإننا نجد هنا اساس النظريات الذرية في الكهرباء وفي المادة . والنظرية الكهربائية الكيميائية التي طورها من قبل برزيلوس Berzelius كانت بآنٍ واحد اكثر غموضاً واقل مرونة . فقد كان ينقصها الأساس الكمي .

العازلات الكهربائية : أن الأفكار التي نادى بها فراداي حول دور الحقل الكهربائي في تفكيك السوائل الموصلة حملته على درس مفاعيل هذا الحقل على الأجسام العازلة السائلة أو الجامدة . وقد خصص لها سنتين (1837 - 1838) وأربع سلاسل من كتابه البحوث .

وهنا نذكر قطعتين له مقتطفتين تدلان تماماً على وجهة نظره : « لما كان المفعول العام يظهر في التحليل المائي وكأنه مفعول جزيئات قد وضعت في حالة خاصة من التكثيف ، فقد توجهت إلى الشعور بأن الحث الكهربائي الستاتيكي المعتاد كان كذلك ، بوجه عام مفعولاً بين جزيئات متجاورة دون أن يكون هناك أي مفعول كهربائي من بعيد إلا بتأثير من المادة الوسيطة » .

« ويمكن القول أن الأجسام العازلة هي اجسام تستطيع اجزاؤها أن تحتفظ بحالة التكثيف أما الأجسام الموصلة فهي الأجسام التي لا يمكن لجزيئاتها أن تستقطب بشكل دائم » . (وهذه الجسيمات أو الجزيئات تتبادل مكوناتها مع جاراتها) وكلمة حث تمثل عند فراداي العمل الذي يعطي شحنات فوق سطح الموصلات ويقاس بثقل نوعي سطحي : « إن الشحنة تقتضي دوماً الحث لأن كلاً منهما لا يمكن أن يتم دون الآخر ؛ ولا دون وجود شكلين من القوة (أي نوعين من الكهرباء) بكميات متساوية . . . لا يوجد شحنة مطلقة من المادة وبواسطة مائع واحد » .

هذا الاستنتاج الموجز يلخص في جملة واحدة نتائج عدة سلاسل من التجارب الملحوظة : وبواسطة قفصه الشهير اكتشف عملياً مبدأ الشاشات الكهربائية التي سبق أن بينها نظرياً غرين . وقد تحقق بدقة من مبدأ حفظ الكهرباء هذا المبدأ الذي قال به بايجاز فرنكلين . واخيراً وبعد خمسين سنة تقريباً بعد كافنديش ، ولكن من دون الاطلاع على اعماله ، قاس القدرات الحائة الذاتية (أو الثوابت العازلة الكهرباء) ، في مختلف العازلات ، فادخل بشكل نهائي هذا المفعول المهم في الفيزياء . ودرس ضمن مختلف الظروف شكل خطوط القوة الكهربائية فلاحظ أن كل شيء يجري كما لو كانت هذه الخطوط تميل إلى القصر وهي تتمدد بصورة اعتراضية : « إن القوة الجاذبة الموجودة بين جزيئات في العازل الكهربائي ، في اتجاه الحث تقترن بقوة ارتدادية في الاتجاه الاعتراضي . ويبدو الحث قائماً في حالة من تكثيف الجزيئات . . . هي حالة الاكراه لأنها لا تنشأ ولا تدوم إلا بفعل قوة » .

رظهرت في « بحوثه » افكارثـلاث خصبة : فكرة خطوط القوة الكهربائية ـ ونحن نقول انابيب الحث الكهربائي ، المنطلق من شحنات ايجابية للوصول إلى شحنات سلبية معادلة ـ ثم فكرة توترات القوة الكهربائية وضغوطاتها التي تفرضها وتلقاها بصورة تدريجية والتي يجب ان تفسر قوى كولومب (وهاتان الفكرتان طورهما رياضياً مكسويل) . أما الفكرة الثالثة فهي فكرة تكثيف العازلات الكهربائية . وهذه الفكرة أوضحها سنة 1845 و . تومسون ، وفي سنة 1847 موسوتي Mossotti الذي اعتمد في حالة المثنويات الكهربائية افكار « بواسون » حول الأجسام المغناطيسية . فضلاً عن ذلك استند فراداي نفسه ومنذ 1838 ، إلى افكار بواسون : « يمكن مقارنة جزيئات العازل الكهربائي العازل الخاضع للحث بسلسلة من الابر المغناطيسية الصغيرة ، أو بصورة اصح بسلسلة من الموصلات الصغيرة المعزولة . . . [وفي حقل كرة مشحونة] تصبح هذه الموصلات الصغيرة مكثفة . أما إذا كانت الكرة مفرغة من الشحنة فإن الجزيئات تعود كلها إلى حالتها الطبيعية » .

أما حالة الفراغ فلها وضع خاص : « إن نظريتي لا تطمح إلى الجزم بالنتائج المتعلقة بالفراغ . وهي في الوقت الحاضر ليست محدودة ولا موضحة بما فيه الكفاية عن طريق التجربة » .

وظل فراداي طيلة حياته يفكر في هذه المواضيع وخاصة بالجزيئات المتجاورة ، التي تنقل تدريجياً المفاعيل التي تبدو وكأنها تحدث من بعد. في بادىء الأمر وَسَّعها فشملت القوة المغناطيسية (1838) : « يبدو لي . . . أنه من المحتمل أن المفعول المغناطيسي يمكن أن ينتقل إلى بعيد بفعل الجزيئات الوسيطة ، وبطريقة تشبه الطريقة التي تنتقل بها القوة الحائلة في الكهرباء الستاتية عن بعد . هذه الجزيئات الوسيطة تكون ، ولفترة من الزمن في حالة خاصة اطلقت عليها عدة مرات ، (وان بفكرة غير مكتملة ابداً) عبارة الحالة الالكتروتونيكية [الكهربائية المتوترة] .

وحول هذه النقطة ايضاً اوضح مكسويل افكار فراداي . ونجد في مذكرات هذا الأخير اللاحقة افكاراً اكثر عمومية تذكرنا بافكار بوسكوفيش Boskovic التي اعلنها منذ منتصف القرن الثامن عشر . فقد كتب مثلاً في سنة 1844 ما يلي : « الانطباع النهائي الذي يحملنا على التفكير العميق هو : ان الجزيئات ليست إلا مراكز قوى . والقوة أو القوى هي العناصر المكونة للمادة : ولا يوجد إذاً بين الجزيئات فضاء متميز عن المادة . إن الجزيئات تتلامس . . . وهي قابلة للانخراق مادياً ، وربما حتى مركزها بالذات » .

التكثيف الدائري المغناطيسي : إن عمل فراداي ، الذي أوقفه المرض في سنة 1841 ، قد استؤنف سنة 1845 . وقد سبق لجون هرشل Herschel أن استنتج أسباب تناظر تقضي « بأن سطح التكثيف في الضوء يمكن أن تُحرِّفَه المغناطيسية الكهربائية » . وربما استلهم فراداي هذه الفكرة من هرشل ، فكانت له اهتمامات مماثلة كما قام بتجارب انطلاقاً من سنة 1822، وخاصة في سنة 1834، حول التحليل المائي (الكتروليت) في حقل مغناطيسي .

في أيلول سنة 1845، اكتشف فراداي ، وهو يعمل على زجاج ثقيل من الرصاص ، ما سماه مغنطة الضوء ، وتنوير خطوط القوة المغناطيسية . أي التكثيف الدائري المغناطيسي .

« كتب يقول : من الثابت إذاً أن القوى المغناطيسية والضوء لهما علاقات متبادلة فيما بينهما . ولكن القوى المغناطيسية لا تؤثر في الشعاع الضوئي مباشرة وبدون تدخل المادة » . ومن المعلوم الأهمية التاريخية لهذا الاكتشاف ، فقد كان احد مصادر النظرية الكهرمغناطيسية في الضوء .

الخصائص المغناطيسية للمادة : في أواخر سنة 1845 قام فراداي ليدرس بصورة ادق فعل الحقل المغناطيسي على الزجاج الثقيل ، فعلق موشوراً منه ، وبصورة حرة ، بين قطبي مغناطيس كهربائي : فلاحظ أن الموشور يتجه ، لا وفقاً لخطوط القوة كما هو الحال بموشور مماثل من الحديد ، بل بصورة عامودية على هذه الخطوط ، وكذلك لاحظ دَفْعَ كراتٍ من نفس المادة خارج الحقل . وكان هذا اكتشاف ما سمي بعكس الجاذبية أو (ديا مانيتسم) وهي ظاهرة لوحظت عدة مرات ، منذ القرن الثامن عشر وخاصة من قبل آ . س. بيكيريل A.C.Becquerel ، ولكنها قلما درست وفهمت حق الفهم . ووسع فراداي عندها بحوثه واكتشف ان كل الأجسام فيها خصائص مغناطيسية . وضمنها

ضمن ثلاث فئات : الديامانيتيك (عكسية الانجذاب) ،وهي الأكثر وتشبه الزجاج الثقيل ، البارامانيتيك (متوازية المغنطيسية) وتتجه على موازاة خطوط القوة ، ولكنها أقل قابلية للاستقطاب من الحديد ثم الأجسام الحديدية المغناطيسية ، وهي وحدها التي كانت معروفة ومدروسة قبله .

وكل هذه الظاهرات كانت تفسر في نظره بالتيارات المحثوثة في الجزيئات . وكانت نظريته حول « البارامانيتيك» وحول الأجسام الحديدية المغناطيسية قابلة جداً للنقاش وكانت اكثر بعداً عن افكارنا الحديثة من نظرية امبير . ولكن الفكرة القائلة بأنه في : « البيسموث وفي الزجاج الثقيل ، وفي الأجسام عكسية الانجذاب (ديامانيتيك) تكون التيارات محثوثة . . . في اتجاه التيارات المحثوثة داخل موصل ، عند « وصل » تيار حاث» (للحقل)، هذه الفكرة اتخذت اساساً لنظرية ادق قال بها فيبر Weber ، واستعيدت بعد ذلك كثيراً ، وطورت من وجهة نظر الكترونية من قبل ب. لانجيفين P . Langevin .

وأثناء هذا العمل ، اكتشف فرادي اكتشافاً مهماً آخر هو اكتشاف المفاعيل المغناطيسية البلورية ، أي ما يسمى بتباين الخواص anisotropie المغناطيسية لبعض البلورات، هذه الخاصة التي تنبأ بها بواسون والتي قام لورد كلفن Kelvin بدراستها فيها بعد دراسة تجريبية ورياضية معمقة . وخصصت السلاسل الأخيرة من « البحوث التجريبية » بشكل خاص من اجل توضيح خصائص « خطوط القوة المغناطيسية » . وقد اتاحت له مجموعة من التجارب المتناهية الابداع والمتنوعة أن يبين : « ان كل خط من خطوط القوة يجب أن يعتبر كحلقة مغلقة ، يمر جزء من مجراها عبر المغناطيس ولها نفس الكمية من القوة (نفس الدفق) في كل نقطة من مجراها » .

وعرف أيضاً أن هذه الخطوط تلتف حول خطوط التيار الكهربائي ، فتشكل حلقات متداخلة فيها بينها كالدوائر . وطبق أخيراً على هذه الخطوط نظرية التوترات والضغوطات ، وهي النظرية التي تحيلها بالنسبة إلى خطوط القوة الكهربائية : « وبين امبير ودافي . . . أن التيار الكهربائي ينزع إلى التحدد . . . وتقصر الخطوط المغناطيسية . . . المشتركة بين المغناطيس وبين الأبرة . وتتجاذب التيارات الكهربائية المتوازية . ولكن محاور القوة المغناطيسية ، أو خطوط القوة تتدافع . . . هذه الاختلافات تتوافق عندما ينظر إلى الموقع المتبادل بين حلقتين تشكلان زاوية قائمة فيها بينهما » .

ونذكر اخيراً واحدة من « افكاره » (من سنة 1846) حول الذبذبات الأشعاعية : « إن الاشعاع هو نوع من الذبذبة السريعة في خطوط القوة التي تجمع فيها بين الجزيئات وبالتالي فيها بين كتل المادة . [وهذه الفرضية] من شأنها رفض الأثير ولكنها لا تتخلى عن الذبذبات » .

ويعود تاريخ التجربة الأخيرة التي قام بها فرادي إلى سنة 1862 ـ أي خمس سنوات قبل موته . وقد حاول رؤية مفعول الحقل المغناطيسي على الخصائص (اللون والكثافة) الضوئية في الضوء الصادر عن مصدر . وكانت اجهزته غير قوية بحيث تمكنه من رصد هذه الظاهرات التي اكتشفت بعد خمس وثلاثين سنة من التقدم التقني ، من قبل زيمان Zeeman .

VII - خلفاء امبير

في حوالي الأربعينات ، كان العصر الذي تتالت فيه الاكتشافات التجريبية الكبرى في مجال الكهرباء بوتيرة سريعة ، قد انتهى ، على الأقل لبعض الوقت . وفتحت سبيلان امام المنظرين : اولاها انطلقت من اعمال امبير : وكان المطلب العثور ، فيما بين عناصر التيار ، وفيما بعد في الشحنات الكهربائية المتحركة على قانون قوة أو قانون زخم كامن ينبي عن كل الظاهرات بما فيها ظاهرات الحث ـ وهذا ما لم تتوصل إليه صيغة امبير . في هذه النظريات حول المفعول من بعيد ، كانت فرضيات الأساس قليلة العدد ، واضحة الصياغة ، وكانت الحسابات تتم وفقاً للطرق الكلاسيكية السائدة في الميكانيك . انما يمكن القول بحق أن هذه الطرق وصلت إلى الطريق المسدود ، لو أنها ، اثناء الطريق ، لم تتوصل إلى قوانين وإلى معادلات مهمة ، وإلى صورة عن الظاهرات الكهربائية كانت شكلاً اولياً لنظرية الالكترونات .

أما الطريق الثانية فهي الطريق الذي فتحها فراداي : وكانت الفكرة الأساسية تدور حول الانتشار المتتالي للمفاعيل الكهرمغناطيسية : وكانت هناك ثلاث صور قابلة للاستخدام: صورة خطوط القوة ، وصورة الوسط الوسيط اي الأثير ، واخيراً صورة الجزيئات المتلاصقة المختلفة الكثافة . وكانت هذه الصور الثلاث مفيدة كلها . ولكن نظراً لتعددية الفرضيات ـ وكانت هذه النظريات مجموعاً من المحاولات المتلاقية في اتجاه محدد ، اكثر مما كانت بناءً متكاملاً متماسكاً ـ بدت افكار فراداي في البداية غامضة مشوشة امام الكثير من المفكرين ، وحتى فيما بعد عندما قام مكسويل بتوضيحها بلغة الرياضيات ، بقيت غير مفهومة لمدة طويلة .

المعادل الميكانيكي للحرارة وقانون جول نبدأ بدراسة موجزة للمعادلات التي اقترحها خلفاء امبير ، انما يتوجب اولاً التذكير باكتشاف اساسي سوف يغير ويجدد بعمق افكارنا حول الظاهرات الطبيعية . في سنة 1842 وضع روبرت ماير Robert Mayer المعادلة بين الحرارة والعمل (راجع حول هذا الموضوع دراسة ج. آلار، الفصل 4 من هذا القسم) .وبمعزل عنه حدد جولJoule هذه المعادلة بواسطة تجربة مباشرة اجراها سنة 1845. واخيراً نشر هلمولتز Helmholtz في سنة 1847 دراسته حول حفظ « القوة » (Uber Die Erhaltungder Kraft) حيث كان مبدأ الطاقة قد صيغ بشكل عام تماماً وكانت هذه الأفكار سارية في الهواء تقريباً . ومن بين « الكهربائيين » كتب فراداي ، منتقداً ، في سنة 1840 نظرية التماس التي وضعها فولتا ، فقال ان هذه النظرية تقتضي « خلق قدرة لا تتيسر لاية قوة في الطبيعة » . وأخيراً نشر جول في سنة 1841 بحوثه حول الحرارة الصاعدة من جراء مرور التيار الكهربائي في شريط مقاوم : وقد قررت هذه التجارب قانون جول الذي تمم قانون اوهم ، ثم اوضح التعريف الطاقوي في القوة الكهربائية المحركة . وكأن العمل حول المعادل الميكانيكي للحرارة هو التتمة الطبيعية .

قانون جراسمان Grassmann : في سنة 1845 لاحظ جراسمان أنه لم يكن من الضروري ولا من المنطقي تفسير المفاعيل « الاعتراضية » في اساسها ـ كما يثبت ذلك من المبدأ الثالث الذي وضعه امبير ـ بواسطة قانون اولي يتمشى مع مبادىء نيوتن ولهذا اقترح صيغة مؤداها حساب، عن طريق قانون بيوت وسافارت، حقل عنصر التيار (ids) في النقطة حيث يوجد العنصر (i'ds') ، ثم بموجب

القانون المعاكس ، بحسب مفعول هذا الحقل وأثره على العنصر الثاني . والحقيقة أن قانوناً من هذا النوع ، لا يماشي مبدأ ردة الفعل ، لا يمكن أن يفهم ميكانيكياً إلّا إذا قصد ضمناً انتشاراً تدريجياً .

فرانز نيومان Franz Newmann . الدراسة الرياضية للحث ومفهوم الزخم المتبادل : وكان هناك دراستان اكثر اهمية بكثير (1845 - 1848) وضعهما فرانز نيومان : وفيهما نجد النظرية الرياضية الأولى حول الحث . لقد ارتكز نيومان على قاعدة نوعية مهمة جداً اكتشفها إ . لنز E.Lenz في سنة 1834 ، وهذا هو نصها (في حالة خاصة) : عندما تتحرك حلقة داخل حقل مغناطيسي، ينبث فيها تيار يكون اتجاهه بحيث أن القوة التي يتلقاها تتعارض مع الحركة . وهذه القاعدة أوحت بالفكرة القائلة بان التيارات المبثوثة تنشأ وتولد ، على الأقل في حالة الحركة ، بفضل العمل الجاري ضد القوى الكهربائية المغناطيسية . وانطلاقاً من فكرة العمل هذه ، العمل المحتمل ، ثم بالارتكاز على النتائج التجريبية التي توصل إليها فراداي ، اعتبر ف. نيومان القوة الكهربائية المحركة الحاثة dE متولدة من الحركة داخل عنصر (ds) داخل موصل تحركه سرعة ϑ .

فقد افترض أن (dE) تتحصل من المعادلة : (4) $dE = -v.dF_v$ حيث dF_v هي الاسقاط على اتجاه السرعة للقوة (dF) التي يبعثها الحقل في العنصر (ds)، بحسب قانون التعاكس المسمى قانون بيوت وسافارت ، هذا إذا كان الحقل ممراً لتيار زخمُهُ يعادل الوحدة . وهذه الفرضية الأخيرة قد تبدو كيفية . إن المعادلة (4) تفرض نفسها على الأقل بحسب النظرية الحديثة حول الالكترونات، وفيها يتكون كل موصل اساساً من جزيئات متحركة نوعاً ما تحمل شحنات ايجابية وسلبية : وفي هذه الحالة تمثل(ϑ) زخم التيار المحدث بفعل وحدة الشحنة الايجابية المجرورة من قبل الموصل .

ويدل الحساب البسيط ان الطرف الثاني من (4) يعادل الدفق المغناطيسي المقطوع ، بخلال الوحدة الزمنية ، من قبل العنصر (ds) . وهذه المعادلة تساوي إذاً قانون فراداي . وفي تتمة عمله وقف ف. نيومن موقفاً اعم . فانطلق من المعادلات التي وضعها امبير للحلقة المغلقة ثم حسب الزخم المتبادل $V_{ii'}$ ، في الحلقتين أي العمل الميكانيكي الذي تجب ممارسته ضد القوى الكهربائية الديناميكية ، لردها ، دون تغيير في الشكل أو الزخم من اللانهائي إلى موقعها الحالي . وحصل على المعادلة التالية :

$$V_{ii'} = -ii' \iint \frac{ds.ds'}{r} \quad (5)$$

التي بقيت كلاسيكية (وفيها : تمثل $ds.ds'$ الجداء اللا اتجاهي للسهمين (ds وds′) ، باعتبار أن r هي المسافة بينهما) .

وتعطي هذه المعادلة فكرة عن كل وقائع التجربة ، عندما تكون التيارات ثابتة ، أو متغيرة ببطء وعندما تكون السرعات ضعيفة بمقدار تعتبر فيه سرعة انتشار المفاعيل الكهرمغناطيسية للضوء شبه لا متناهية .

وبصورة خاصة إذا نظرنا إلى عنصر (ds′) ثابت وان اكملنا بالنسبة إلى (ds) ، داخل الحلقة الأولى ، نحصل على الزخم الموجه لهذه الحلقة عند النقطة التي تحتلها (ds′) . وقد استعمل مكسويل فيما بعد هذه الكمية إنما من وجهة نظر اخرى .

عمل ولهلم فيبر Wilhelm Weber : إن الأعمال المعاصرة التي قام بها ولهلم فيبر ، (1804 - 1891)

هي أيضاً مهمة ولكن اتجاهها مختلف تماماً . بالدرجة الأولى يعتبر فيبر تجريبيا من الدرجة الأولى . وتتضمن مجموعته الكبرى من المذكرات (Electrodynamische... 1840 - 1878) أوصافاً للتجارب وللأجهزة كما تتضمن بذات الوقت حسابات نظرية .

وكان غوس هو الذي وجه فيبر نحو الكهرمغناطيسية . وفي سنة 1834 صنع العالمان أول تلغراف كهربائي عمل فعلاً بين مختبر الفيزياء وجامعة غوتنجن (ان تلغراف كوك Cooke ويتستون Wheatstone يعود إلى سنة 1837 ، وتلغراف مورس Morse يعود إلى سنة 1840 . ونذكر أيضاً الابحاث التي قام بها « هنري ». أما كابل « كالي ـ دوفر » فقد وضع سنة 1851) .

في سنة 1832 قام غوس بقياس « القيمة المطلقة » أي القياس المربوط بالوحدات الجيومترية والميكانيكية ، للحقل المغناطيسي الأرضي ، وللعزم المغناطيسي في المغناطيس : وهكذا عرف بدقة وحدة العزم المغناطيسي. وكذلك عرف كولومب وحدة الشحنة الكهربائية . ومن هذا التعريف الأخير اشتق نظام الوحدات الكهرستاتية . وبفضل وحدة العزم المغنطيسي اصبح من الكافي قياس المفعول على مغناطيس ضمن حلقة كهربائية ذات شكل معين ثم تطبيق قانون بيوت وسافارت لربط المقادير الميكانيكية ، بزخم التيار الكهربائي . وهكذا يتم الحصول على النظام الكهرمغناطيسي الذي وضعه غوس Gauss . وحقق فيبر التجارب : بواسطة بوصلة المماسات ، قاس « بالقيمة المطلقة » زخم تيار كهربائي (1840) . وفي ما بعد حسَّن من أساليبه فصنع الكترودينامومتر من اجل تحديد اثر الحلقة على حلقة اخرى تحديداً كمياً ، وهذا امر لم يقم به امبير اطلاقاً . وفي سنة 1855 وبمعاونة ر. كوهلروش Kohlrausch. قاس فيبر، مباشرة ، نسبة الوحدة الكهرمغناطيسية إلى الوحدة الكهرستاتية في الشحنة الكهربائية ، وهي نسبة تدخل صراحة في المعادلة حول الآثار الكهربائية (6) والقيمة التي توصل إليها فيبر ($3 \cdot 11 \cdot 10^{10}$) تساوي ، رغم اخطاء التجربة التقريبية ، سرعة الضوء وهو اكتشاف رئيسي سوف يصبح الأساس التجريبي للنظرية الكهرمغناطيسية للضوء .

وفي سنة 1846 نشر فيبر مذكرة (Uber ein allgemeines Grundgesetz ...) كان هدفها تجميع التفاعل بين الجزيئات الكهربائية المتحركة وكل ما يعرف عن الكهرباء في قانون وحيد ، أي اجراء توليف تركيبي بين الكهرستاتية والكهرديناميكية . وفيها عرف التيار الكهربائي صراحة كحركة ـ ذات اتجاه معاكس ـ في الشحنات الكهربائية من ذات الاشارتين. ويكتب قانون فيبر كما يلي :

$$f = \frac{ee'}{r^2} \left\{ 1 - \frac{1}{2\, c^2} \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \frac{1}{c^2}\, r\, \frac{d^2 r}{dt^2} \right\}, \qquad (6)$$

باعتبار (f) هي قوة التفاعل في الشحنتين (e و e') (وهي تتمشى مع مبدأ نيوتن) أما (r) فهي المسافة بينهما و (c) هي العلاقة بين الوحدات .

إن الحد الأول هو قوة كولومب . أما الحدان الأخيران فيمثلان القوى الكهردينامية ومفاعيل

الحث ، شرط افتراض ان الدفقين المتعاكسين من الكهرباء الايجابية والسلبية يتمان بالنسبة إلى كل تيار وفقاً لسرعات مطلقة متساوية . ولكن سرعان ما عرف ان هذه السرعات هي قابلة للقياس ضمن المحاليل المائية (الكترولیت) وانها غير متساوية .

وهناك اعتراضات جدية تدخل في نطاق الطاقة ، قامت بوجه نظرية ڤيبر خاصة من قبل هلمولتز Helmholtz وكلوزيوس Clausius . ولكنها أي نظرية ڤيبر ادت خدمات لمدة طويلة : فقد استعملها كيرشهوف لحسابه « حركة الكهرباء في الخطوط » وفقاً لنظام متغيّر ، ثم داخل الموصلات ذات الأبعاد الثلاثة (1857) .

لم يتوقف فيبر عن تعميق فكرته العميقة فيزيائياً حول الجزئيات الكهربائية المتحركة . في سنة 1871 ، نشر نظريته حول المغناطيسية والتعارض المغناطيسي القريبة جدا من افكارنا الحديثة .

كتب مثلاً يقول : « نفترض أن (e) هي الجزئية الكهربائية الايجابية . ونفترض فضلاً عن ذلك أن ذرة قابلة للوزن تجذب من قبل هذه الجزئية بشكل يكثف حجمها بحيث يصبح حجم الجزئية الإيجابية غير منظور بالمقارنة . وعندها يمكن تصور الجزئية (e –) كما لو كانت في حالة سكون ، والجزئية (e +) متحرّكة حول الأولى . وتشكّل هاتان الجزئيتان التيار الجزيئي الأمبيري . وهذا هو التصور الحديث تقريبا.وبالنسبة إلى ڤيبر وهو يطور افكار امبير وفرادای ، تعزى المغناطيسية المتوازية إلى التوجيه الحاصل بفعل حقل التيارات الجزيئية الموجودة سابقاً، أما المغناطيسية الاعتراضية فتعزى إلى التيارات المحثوثة في الحلقات الجزيئية . هذه الصور النصف نوعية ايضاً سوف تتوضح من قبل لانجيفين langevin في نظرية الألكترونات

فكرة الزخم المتأخر : إن بحوث بعض علماء الفيزياء الرياضيين قلما كان لها جدوى إلا من الناحية التاريخية . في سنة 1858 افترض ب. ريمان أن الزخم الكهربائي يخضع لا لمعادلة بواسون بل لمعادلة انتشار بسرعة متناهية ، ترتد إلى معادلة بواسون في الحالة الستاتية ، فيبدو حلها بشكل زخم متأخر

وقد عاد إلى هذا المفهوم المهم جداً انما بشكل آخر مختلف كلٌ من كارل نيومان Carl Newmann(ابن فرانز) في سنة 1869 ول. لورنز الذي وسع الفكرة حتى اشملها الزخم الموجه أو السهمي (1867) . ولكن في هذه الأثناء ظهرت اهم مذكرات مكسويل . ولم يكن لورنز على ما يبدو يظن أن معادلات الانتشار التي تتلاءم معها آراؤه حول الزخم المتأخر ، تعادل رياضياً المعادلات التي اقترحها مكسويل .

مقاومة افكار مكسويل : كانت افكار مكسويل تفهم فهماً سيئاً في البداية وقد انتقدت بعنف من قبل علماء القارة الأوروبية . وطيلة اكثر من عشرين سنة ظل فيزيائيون مشهورون يحاولون وضع نظريات كهردينامیكية ذات مفعول آني ومن بعيد .

من ذلك أنه في سنة 1877 ، حوّل ر. كلوزيوس نظرية ڤيبر إلى نظرية وحدوية لا يمكن فيها النظر

إلا إلى نوع وحيد من الشحنات المتحركة .

واقتصر التعبير ، الذي عثر عليه بشأن الزخم الحاصل من تفاعل شحنتين ، على الزخمين اللذين قال بهما كولومب ونيوتن في حالة التيارات الدائمة . ولكن هذا التعبير يُدْخِلُ ، ليس السرعة النسبية كما تقتضي صيغة فيبر ، بل السرعات المطلقة داخل وسط افتراضي ، هو الأثير . وبهذا يخرج هذا التعبير من الإطار الضيق للنظريات القائلة بالمفعول من بعد .

اعمال هلمولتز Helmholtz في الكهرديناميك : أما الأعمال التي نشرها هـ. هلمولتز (1821 - 1894) حول الكهرديناميك من سنة 1870 إلى سنة 1874 ، فإن جدواها لا تتأتى فقط من اناقتها ومن عموميتها ، إنما ايضاً من كون هلمولتز كان معلم هـ. هرتز والمسائل التي طرحها على هرتز ثبتت انتباه هذا الأخير حول مسألة التيارات المفتوحة ، وحول العلاقة بين الكهرديناميك والتكثيف الكهربائي غير الموصل (دي الكتريك) وحول الأرجحات الكهربائية . وفي سنة 1902 فضل بيار دوهيم ايضاً نظرية هلمولتز على نظرية مكسويل ـ هرتز .

وعن طريق أبحاثه حول الأثر الفيزيولوجي لشحنات «المكثف» توصل هلمولتز إلى التفكير في الديناميكية الكهربائية للتيارات الموجهة . وقد لفته واقعة أن كل الصيغ المقترحة منذ امبير وخاصة منذ ف. نيومان F.Newmann ، تعطي ايضاً دلالة على الوقائع الملحوظة على التيارات المغلقة ، فبحث عن معادلة تتعلق بالزخم المتبادل بين شحنتين متحركتين ، وهذه المعادلة كانت اكثر عمومية من المعادلة (5) التي وضعها نيومان والتي ظلت تتوافق مع مبدأ الطاقة . وحصل على معادلة بسيطة نوعاً ما ، تتضمن ثابتة غير محددة (K) مما يعطيها نوعاً من المرونة . وإذا اعتمدنا القيمة (K = 1) ، نجد زخم نيومان . وإذا كان (K = − 1) نقع على نظرية فيبر ، وإذا كان (K =0) نقع على نظرية مكسويل . ولكن هلمولتز اضطر إلى الافتراض بأن الفراغ يتضمن شحنات كهربائية وأنه قابل للتكثيف . وهذه القابلية في الفراغ لا تمت بأية صلة إلى القابلية التي افترضتها فيما بعد النظرية الكانتية (الكمية) . بل انها تتوافق مع صورة لأثير مكون من خلايا كاملة الايصال مفصولة بحواجز رقيقة عازلة : وتكون التيارات الحاصلة في هذه الخلايا ، عندما يتبدل الحقل الكهربائي ويغير حالة تكثيفها ، هي ـ في هذه النظرية ـ ما يحل محل « التيارات البديلة » التي قال بها مكسويل .

في سنة 1847 ، وفي كتابه «Uber die Erhaltung der Kraft» قدم هلمولتز عن القوة المحركة الحاثة نظرية بسيطة ولكنها قليلة الدقة ، ومرتكزة على مبدأ الطاقة . وفيها عرّف ايضاً ولأول مرة طاقة نظام كهربائي ستاتيكي . وفيما بعد ، أي في سنة 1858 عثر على : « الاكتشاف الرائع لقوانين ديناميكية الحركة الزوبعية» (لورد كلفن) . وسوف نعود إلى مساهمته في اكتشاف الالكترون وإلى بحوثه المتعلقة بالبطاريات وبالطبقات الكهربائية المزدوجة .

VIII - كيرشهوف Kirchhoff ووليم تومسون W.Thomson

تجب على حدة معالجة ، ما قام به ، في مجال الكهرباء هذان العالمان اللذان عاصرا من سبق ذكره ، وذلك لسببين : أولاً لأن هلمولتز ومكسويل ربما كانا ، في مجال الفيزياء اعظم عالمين في النصف

الثاني من القرن التاسع عشر ، وتالياً لأن عملهما يتميز بميزة خاصة : فرغم انهما كانا ميالين إلى البحوث النظرية إلا أنهما كان يهتمان أيضاً بالمسائل الخاصة المتعلقة غالباً بالناحية العملية ، وكانا يعالجانها بآن واحد بفكر منفتح وايجابي تماماً .

كيرشهوف والكهرباء المتحركة (الكتروسينيتيك): في سنة 1845 استطاع غوستاف كيرشهوف (1824 - 1887) وكان ما يزال تلميذاً ، أن يوسع نظرية أوهم ـ التي لم تعالج إلا الحالة الخطية ـ حول الموصلات ذات البعدين ، أي الصفائح (بلاك) وأن يبين قوانينه الكلاسيكية حول التيارات المشتقة . وفي سنة 1848 ، ارتكز مثل اوهم على اعمال فوريه Fourier ، فوضع النظرية العامة لانتقال الكهرباء في الموصلات ذات الأبعاد الثلاثة . وفي كل اعماله لم يكن يبحث إلا في التوتر أو الضغط أو القوة الكهربائية ذات الحجم (الكتروسكوبي) . وبعد تجارب كوهلروش Kohlrausch الذي استطاع سنة 1848 ، قياس الضغط بواسطة الالكترومتر ، استطاع كيرشهوف مماهاة هذا الحجم أو الكم مع الزخم الكهرستاتيك ، وسرعان ما تبين ، بعد الأخذ بقانون جول ، أنه التعريف الوحيد السليم للطاقة .

أهمية وتنوع اعمال وليم تومسون : كان وليم تومسون (لورد كلفن) (1824 - 1907) اكثر قدماً من كيرشهوف . في سنة 1842 نشر في كمبريدج عملاً مغفلاً (حول الحركة المتسقة للحرارة في الأجسام المتجانسة وعلاقتها بالنظرية الرياضية للكهرباء) وهي نظرية طورها هو بعد ثلاث سنين .

وفي سنة 1845 ، امضى ستة اشهر في باريس وكشف امام العلماء الفرنسيين : « محاولة » غرين Green . وقام باعادة طبعها في سنة 1850 . ونشر في صحيفة « ليوفيل » « رسالة حول مبدأ الصور الكهربائية » كما نشر مذكرة حول القوانين الأولية التي تحكم الكهرباء الثابتة . وطور هذه البحوث في السنة التالية في مذكرة بعنوان : « حول النظرية الرياضية في الكهرباء المتوازنة » . وقد أشار في هذه الرسالة الأخيرة إلى الشبه الخالص بين معادلات الكهرباء الثابتة وايصال الحرارة الثابتة ، وهذه المشابهة جرّت إلى المماهاة في السمات بين السطوح المتساوية الزخم والسطوح المعزولة حرارياً أو الثابتة الحرارة : وفي الحالتين كانت المعادلة الأساسية هي معادلة لابلاس على الرغم من أنه في الحالة الأولى يفترض وجود مفعول من بُعد وفي الحالة الثانية انتشار تدريجي ، ويبدو أنه هنا تكمن المحاولة الأولى للتعبير رياضياً عن افكار فراداي .

وبعد ذلك بسنتين انطلق تومسون من المبادىء التي وضعها فراداي فحاول أن يضع « تمثيلاً ميكانيكياً للقوى الكهربائية والمغناطيسية والتحليلية (الغالفانية) » بواسطة مطاطية الجوامد . وظلت هذه الأفكار الميكانيكية تغريه ، وبقي يعود إليها طيلة حياته .

وهكذا جرّ إلى اعتبار الحقل (أو الحث) المغناطيسي ، « كجذر لزخم سهمي » مرتبط فقط بزخم وبشكل الحلقات التي تحدث هذا الحقل . وقد استخدم مكسويل هذه النتيجة فعرف الزخم السهمي بصورة مستقلة عن كل مماثلة ميكانيكية .

ومن سنة 1849 إلى سنة 1851 ظهرت له اربع مذكرات مختلفة النوعية هي « النظرية الرياضية في

المغناطيسية » وهي نظرية ظاهراتية مرتكزة على « الأساس الوحيد للوقائع المعروفة عموماً وبصورة خاصة على بحوث كولومب » أي دون تدخيل مائعي بواسون . وهذان المائعان استعيض عنهما بمقادير محددة بواسطة القياس التجريبي : المغنطة ، القابلية النفاذية (وهاتان السمتان الأخيرتان مرتبطتان فيما بينهما) . وأدت الدراسة ، التي سبق أن بدأ بها بواسون ، للقوى التي تعمل في تجاويف ذات اشكال منوعة ادت إلى تعريف دقيق لما نسميه نحن مع مكسويل الحث والحقل المغناطيسيين ، وربما كان من الأفضل له ابقاء الأسمين اللذين اطلقهما تومسون للقوى أو (الحقول) بحسب تعريفهما الكهرمغناطيسي والقطبي .

وفي المذكرة الثالثة من هذه المذكرات يوجد التعبير الصحيح « زخم الحلقة الغلفانية المغلقة » ذات الشكل الحر ، وذات الزخم i ، وهو تعبير تعطيه وظيفة متعددة الأشكال لا تتحدد قيمتها إلا بمعدل تقريبي هو (4π ni) باعتبار (n) عدداً صحيحاً ، مما يعني أن كل دورة تلف الحلقة يقوم قطب وحدة بعمل يساوي 4π i : وهذا ما يسمى فرضية امبير ـ وهي داخلة ضمناً في معادلاته ولكنها غير مصاغة من قبله صياغة واضحة .

وطورت المذكرة الرابعة نظرية الآثار المغناطيسية البلورية (مانيتوكريستالين) . والشيء العجيب هو أن و. تومْسون ظل لمدة طويلة ينظر بشك إلى نظرية التيارات الجزيئية التي قال بها امبير. ولم يوافق عليها بصورة قطعية الا في سنة 1856 بعد أن حاول أن يضع « تبييناً ديناميكياً » لمفاعيل التكثيف الدائري المغناطيسي وبعد أن اقتنع أن الظاهرات المغناطيسية لها سمة الدوران الأساسية .

ومن سنة 1850إلى 1859 ، أهتم عدة مرات بمسائل الطاقة ، أو « القيم الميكانيكية لتوزيعات الكهرباء والمغناطيسية والغلفنة » . واعطى لطاقة نظام المغناطيسات الدائمة أو المحثوثة الصيغة التالية : $w_m = \int (\mu H^2/8\pi)dV$ (7) التي استخدمها فيها بعد مكسويل . وفيها بدت الطاقة وكأنها موزعة في كل الفضاء بين مختلف عناصر الحجم (dV) حيث تمثل الشفافية (μ) والحقل المغناطيسي (H) . ثم وسع هذه الصيغة حتى شملت التيارات . وبين ان الطاقة الكهرمغناطيسية في حلقة يمر بها تيار i تساوي $(1/2)\ Li^2$ ، باعتبار (L) تساوي معامل الحث الذاتي الذي يعبر عنه بصورة طاقوية . وقد حسب هذا المعامل في حالة البوبين أو البكرة . في سنة 1853 اتجه انتباه تومسون نحو ظاهرة تكررت عدة مرات. فمنذ سنة 1827 ، درس ف. سافاري مغنطة الإبر الفولاذية بفعل تفريغ شحنة مكثفة . فلاحظ في هذه المغنطة طبقات متتالية واستنتج منها أن « حركة الكهرباء بخلال هذا التفريغ تقوم على سلسلة من التأرجحات » . ونفس الرصد أو الملاحظة تحصَّل لجوزيف هنري في سنة 1842 . وضبط و. تومسون المسألة عن طريق الحساب : فأخذ في الاعتبار قدرة المكثف ، والمقاومة الذاتية في الحلقة ، فنظم النظرية الكاملة للظاهرة ، ووضع شروط الأرجحة وحسب التواتر والتمويت . وبعد اربع سنوات تحققت استنتاجاته كلها بصورة تجريبية على يد فيدرسن Feddersen الذي حلل الظاهرة بواسطة مرآة دوارة . وكانت هذه التفريغات المتأرجحة والتي لعبت دوراً اساسياً في تجارب هرتز ، قد استخدمت لبث موجات الراديو إلى أن تم اكتشاف اللمبات ذات المشاعل الثلاثة .

وابتداءً من سنة 1854 اهتم تومسون بالتلغراف تحت البحار : فاشترك بنفسه في وضع أول كابل

بحري بين اوروبا واميركا . ووضع اجهزة استقبال (سيفون ريكوردر ، وغلفانومترات حساسة) . ونظم معادلة انتشار الاشارات مع الانتباه إلى المقاومة وإلى القدرة الموزعتين على طول الكابل (باعتبار أن الحث الذاتي مهمل) . وبين وجود تشويه وتأخر تدريجي لأن السرعة تتعلق بالتوتر .

وفي سنة 1857 تصدى كيرشهوف لمسألة مماثلة ، وهي مسألة انتشار الاشارة الكهربائية على طول الخط التلغرافي ذي المقطع الدائري . وفي هذه الحالة يجب الانتباه بآنٍ واحد للحث الذاتي وللمقاومة وللقدرة الموزعة كلها على طول الخط . وافترض ان زخم التيار الكهربائي هو ذاته في كل مكان من المقطع المستقيم مستخدماً المعادلة (5) التي وضعها ڤيبر ـ مبيناً بهذا انها قابلة للاستعمال ـ فحل كيرشهوف المسألة تماماً . ووضع في هذه الحالة الخاصة «معادلة التلغرافيين» التي عثر عليها هيفيسايد Heaviside فيما بعد بكل عموميتها (1876) . وحسب تعابير الحث الذاتي والقدرة على اساس وحدة الطول في الخط ، وبين انه إذا كانت المقاومة ضعيفة لحد الاهمال ، فإن الاشارات تنتشر بسرعة تساوي النسبة بين وحدات نظامين كهربائيين ، نسبة استطاع قياسها ڤيبر وكوهلروش Kohlrausch بواسطة سرعة الضوء . وظلت هذه النتيجة كلاسيكية رغم ارتكازها على الكترودیناميك ذي مفعول بعيد يطبق على التيارات شبه الساكنة . ولا شك أنه قد ساهم في توجيه فكر مكسويل .

ومن بين الأعمال الأخرى التي قام بها وليم تومسون ، نذكر النظرية الترمودیناميكية في الظاهرات الترموكهربائية (1851)، ونذكر صنع الالكترومتر ذي الربعيّات (1867) والالكترومتر المطلق 1870، والقياس الجديد لنسبة الوحدات، ثم تحديد وحدة الأوهم ، الخ . وقد سمي كلفين باروناً في سنة 1892 .

IX - النظريات الميكانيكية

وبدا اكتشاف مبدأ حفظ الطاقة في اعين المعاصرين كاعلان عن وحدة قوى الطبيعة . وكان هذا المبدأ معروفاً منذ زمنٍ بعيد في الميكانيك تحت اسم « قاعدة القوى الحية » . وكذلك سمي الترموديناميك في بادىء الأمر « النظرية الميكانيكية للحرارة». ومن جهة اخرى ارتكزت نظريات الاوبتيكا ، كنظريات فرنل مثلاً التي كان نجاحها باهراً جداً ، على الصور الميكانيكية . فكان من الطبيعي إذاً أن يعتقد الفيزيائيون في ذلك الحين ، بامكانية تحقيق المثال الذي قال به ديكارت ، بشكل ايجابي وهو : رد كل الظاهرات إلى صور وإلى حركة ـ شرط ادخال بعض المفاهيم الجديدة مثل مفاهيم الطاقة المتحركة والطاقة المتربصة الكامنة . ويبدو أنه لم يكن هناك إلا مشكلة باقية هي : وضع نظرية ميكانيكية للكهرباء وللمغناطيسية . وهذه النظرية الميكانيكية يفترض بها بذات الوقت أن تتيح توضيح بنية الأثير .

وحتى أواخر القرن التاسع عشر بذلت جهود ضخمة في هذا الاتجاه من قبل اعاظم علماء الرياضيات الفيزيائية امثال : و . تومسون وج . ستوكس G.Stokes ، وكيرشهوف ومكسويل وهلمولتز ـ الذي لعب عمله حول الزوابع دوراً اساسياً ـ ول. بولتزمان Boltzmann ، ولك . آ. بجركنس C.A.Bjerknes ولارمور Larmor الخ . ولم تكن هذه البحوث إلا محاولات ماهرة وفاشلة لو أنها لم تستمد منها الأفكار الأكثر تجريداً فيما يتعلق بالسهم الموجه (فكتور) (Vecteur) وبالمُوتّر (tenseur)

وبالحقل ، ثم بالتناظر (سيمترية) وبالمؤثّر (اوبيراتور) وكلها مفاهيم تستخدم في الفيزياء اليوم وهناك تحليل مقتضب يستطيع أن يفهّم بعضاً من الأفكار العامة التي كانت تراود في ذلك الوقت عقول غالبية المنظرين ـ والتي تبدو لنا اليوم بعيدة جداً .

وقد عرف فراداي قوانين التعاكس التي تربط « بشكل دائري » بين الأسهم الموجهة الكهربائية والمغناطيسية . وبعد مضي عشرين سنة كانت غالبية الفيزيائيين متفقة حول هذه النقطة . ولكن من جراء هذه الواقعة برزت من الناحية الميكانيكية مسألة خيار .

إذا قبلنا بما قال به امبير من ان التيار الكهربائي هو تيار مادي حقيقي ، فان الحقل المغناطيسي ، كسبب لهذه الحركة ، يشارك بسماتٍ مماثلةٍ ويمكن تشبيهه بنقل داخل جامد مطاطي . وعندها تمثل خطوط القوة (أو بصورة اولى خطوط الحث) المغناطيسية محاور الزوابع المتكونة بفعل هذه الحركات . وتفرض هذه الصورة نفسها بشكل واضح تماماً إذا عزونا مغنطة الأجسام إلى تيارات تتجول داخل الجزيئات .وقدمت نظريات ميكانيكية من هذا النمط ، مع غيرها من قبل تومسون ، خاصة بعد 1856 ، ومن قبل مكسويل سنة 1861 . ولكن يمكن أيضاً الافتراض كما فعل ارستيد Œrsted و « ولاستون » Wollaston أن الخيط الذي يمر به تيار كهربائي هو محور زوبعة متكونة من سائل يتحرك وفقاً لخطوط القوة المغناطيسية . وقد دعمت هذه الرؤية التي اقترحها ـ من بين آخرين كثيرين ـ فراداي ، من قبل هلمولتز بشكل خاص في سنة 1858 ومن قبل كيرشهوف انطلاقاً من سنة 1860 . وطور تومسون ومكسويل في بداية بحوثهما مماثلات ميكانيكية من هذا النوع .

وفي الحالتين يمكن تفسير القوى الكهربائية والمغناطيسية بصورة هيدروديناميكية : جذب ودفع بين الزوابع . وقد درسها هلمولتز ولوحظت بين « دوائر » الدخان تفاعلات بين « الكرات النابضة » المقاسة ، خاصة من قبل ش . آ . بجركنس C.A.Bjerkenes (1877) .

والمسألة التي تطرح نفسها واقعاً ـ والتي افصح عنها بكل وضوح بيار كوري P.curie سنة 1883 ـ كانت تقوم على معرفة ماهية « تناظر » الحقلين المغناطيسي والكهربائي . مسألة مطروحة بهذا الشكل ومحررة من كل صورة ميكانيكية ، وقد حلها تومسون ومكسويل ثم كوري : إن الحقل الكهربائي هو سهم موجه قطبي ذو سيمترية تشبه التنقل أو المخروط . والحقل المغناطيسي هو سهم محوري يشبه الاسطوانة الدائرة (والسبب الرئيسي الذي جاء به تومسون ومكسويل كان : التناظر المميّز عن التكثيف الدائري المغناطيسي للضوء . وأضاف إلى هذا السبب ب . كوري سبباً آخر واضحاً ايضاً : ان تناظر الحقل الكهربائي محدّد من طرف واحد بظاهرة الكهربائية الضغطية Piezo - électricité » التي اكتشفها في سنة 1881 برفقة اخيه جاك كوري وهي الواقعة القائلة : « بأن الشفرة المحددة بشكل ملائم داخل بلورة نصف سطحية ومنحنية الجوانب وموضوعة بين ورقتين من القصدير تشكل مكثفاً من شأنه أن يشحن ذاته بذاته عندما يُضْغَطُ ») .

أما الأثير فالخصائص الميكانيكية التي يجب ان تعزى إليه كانت عجيبة نوعاً ما ـ فهو مرة مائع كامل ومرة جامد وكان من الواجب أن يكون قادراً على نقل الذبذبات الاعتراضية ثم ـ من أجل تفسير انعدام الموجات الطولية ـ بالامكان القول بأن سرعة هذه الموجات الأخيرة كانت لا نهاية لها (عدم

الانضغاطية الكاملة) ، أومعـدومـة(اللانضغاطية الكاملة) ، وعاد تومسون إلى فرضية ماك كولاغ Mac Cullagh ومفادها : في حين تعزى مطاطية الأجسام المادية إلى مقاومة تغيرات الشكـل والتمدد والتشقق ، تكون مقاومة الأثير ردة فعل لدوران عناصر الحجم بالنسبة إلى توجهها المتوازن ، وهي ردة فعل لا وجود لها إلا في المادة العادية : وهذه هي فرضيـة الصلابة الجيـروستاتيـة Gyrostatique .

كل هذه الصور نوقشت باختصار حتى حوالي 1905 . فـي سنة 1900 ايضاً نشر لورد كلفـين في المؤتمر الدولي في باريس تقريراً « حول حركة الجامد المطاطي غير المحدد ، المجتاز من قبل جـسم يؤثر فيه بفعل الجذب والدفع » ، وهو تقرير القصد منه مناقشة نظرية ميكانيكية الأثير . « حيث اشعر بوجود فشلي؛ هـو في جهودي الدؤوبة منذ خمسين سنة لفهم شيء اكثر عن الأثير الضـوئي وعن المادة وتـأثيره وتدخله في القوى الكهربائية والمغناطيـسية . ولا اعرف اليوم عن هذا الموضوع اكثر مما كنت اعرفه من خمس وخمـسين سنة » .

وكذلك صرح « لارمور » وهو مؤلف ايضاً حـول النظريـات الميكانيكيـة (في 1900): يتوجب الاقلاع عن «تفسير المجموعة البـسيطة من العلاقات التي تحدد نشـاط الأثير وذلـك بمعالجتهـا كعواقب ميكانيكية لبنية خفية في هذا المحيط » .

وكان من المعروف منذ 1892 وجود نظرية ظاهراتية كاملة حول الكهرباء المغناطيسية هي نظرية هرتز . وكانـت النسبية ونظريات الكنتا على الأبواب .

X - مكسويل ونظرية الحقول الكهرمغناطيسية

الرسوم الأولى لنظرية رياضية حول الحقل الكهرمغناطيسي : في سنة 1855 ، وفي عمر من 24 سنة نشر جامس كلرك مكسويل James Clerk Maxwell (1831 1879) أول مؤلف له حول الكهرباء بعنـوان : « خطوط القـوة عند فراداي » . وفيه استلهم بصـورة اسـاسيـة من كتـاب : « البحـوث التجريبية » ومن مقالات نشـرت بقلم و. تومسون في سنة 1845 و 1847 وقدمت له هذه المقالات نماذج من مشابهات فيزيائية وميكانيكية ، وايضاحات دقيقة حول أفكار فراداي وفي هذه المذكرة ، لم يقدم مكسويل نظرية ميكانيكية متماسكة بل سلسلة من الصور الهيدروديناميكية اتاحت له التعبير عن قوانين الكهرباء المغناطيـسية باسلوب رياضي جديد في معظمه (وعثر في إحدى الحالات الخاصة على قاعدة مهمة اثبتها ج . ستوكس G.Stokes قبل ذلك بعدة سنوات) .

وبيّن اولاً أن قوانين الحقل الكهرستاتيكي هي مماثلة تماماً لقوانين الحركة اللادائرية في مائع غير قابل للضغط ، بين المنابع ـ الشحنات الايجابية ـ والآبار ـ الشحنات السلبية . ويمكن كذلـك مقارنـة خطوط القوة المغناطيـسية المتولدة بفعل تيار كهربائي ، وتحيط دائرياً بحركة زوبعية من مائع غير قابل للضغط .

وإن نحن نظرنا عندئذٍ إلى تيار كهربائي موزع على مختلف النقاط ومـوصل لثـلاثة ابعـاد بثقل نوعي (u) ، تستطيـع قاعـدة امبير ، بفضـل « صيغة ستـوكس » أن تكون ممثلة محلياً بالمعـادلة ذات المشتقات الجزئية التالية :($rotH = 4\pi u$)(8)حيث يكون الدوراني(rot) في الحقل المغناطيسي (H) هو سهم

اضافي حسب مكسويل مكوناته الثلاثة الديكارتية ويمثل كمياً الكيفية التي فيها ، وفي كل نقطة من الفضاء ، تعزل خطوط القوة المغناطيسية حول خطوط التيار الكهربائي (نعثر في مذكرات كلاميكية لـ كوشي A.Cauchy حول تحريفات الأوساط المستمرة (1827، 1841) على صيغ مماثلة تدل على مكونات « الدوران الوسطي لعناصر الحجم » وهناك معادلات اكثر عمومية كان قد وضعها ج. ستوكس في كتابه « نظرية التفارق الديناميكي » 1849) .

إن المعادلة رقم (8) تعادل عملياً القانون رقم (1) الذي وضعه بيوت وسافارت كما تساوي القواعد التي وضعها امبير . ولكن وبسبب ان مطلق معادلة تفاضلية تحل محل قانون فاعل من بعيد ، تكون الخطوة الأولى قد انتقلت في مجال الكهرمغناطيسية من النظريات من النمط النيوتني إلى النظريات حيث ينظر إلى الانتشار المتقارب في الفضاء .

وفي القسم الثاني من مذكرته اهتم مكسويل بمفاعيل الحث . والمماثلة التي لحظها فراداي بين قانون هذه المفاعيل وقانون الكهرمغناطيسية ، يمكن أن تقوده دفعة واحدة إلى « معادلته الثانية » . وبدا غير آبه بها ، واكتفى بتوضيح مفهوم الحالة الكهربائية الضاغطة التي بقيت مبهمة ، توضيحاً رياضياً : وما هي بين الزخم الكهربائي الضاغط وبين الزخم الموجه الذي عرَّفه و. تومسون سنة 1847 باعتباره دائري الحث المغناطيسي ، والذي استخدم ضمناً في بحوث سابقة من قبل ف. نيومان ، وفيبر وكيرشهوف. ونتج عن هذا التعريف ان دفق الحث المغناطيسي الذي يجتاز سطحاً محدداً باطار يمكن أن يفسر بدون غموض تبعاً لقيم الزخم الموجه ، في مختلف نقاط هذا الاطار . وعندها ارتدى قانون « فارادي ـ نيومان » شكلاً بسيطاً :

« إن القوة الكهربائية المحركة (الحث) في كل عنصر داخل موصل تقاس بصورة كمية ، ومن حيث الاتجاه بالسرعة الآنية في تغيرات الزخم الكهربائي المتحرك (أو الزخم الموجه) ضمن هذا العنصر » ، وهذه الصيغة تساوي ، إنما بشكل مدموج المعادلة الثانية من معادلات مكسويل .

وهذه المذكرة ،رغم ما فيها من مشابهات ميكانيكية ، تهدف بصورة فريدة إلى تقديم مفهوم واضح إلى الجيومتري عن علاقات خطوط القوة في الفضاء الذي ارتسمت فيه هذه الخطوط .

نظرية الزوابع الجزيئية وتطبيقاتها. معادلات مكسويل: بعد ست سنوات من التفكير ومن النشرات حول مواضيع اخرى (1861 - 1862) اصدر مكسويل عملاً آخر : « حول فيزياء خطوط القوة » ، وفيه يقترح على نفسه تفحص الظاهرات المغناطيسية من وجهة نظر ميكانيكية ، اي أنه اقترح بناء نظرية ميكانيكية متماسكة ما أمكن حول كل الكهرباء المغناطيسية .

وكانت رسيمته الأساسية هي رسيمة اثير متكون من جملة خلايا تدور ، في حقل مغناطيسي بنفس الاتجاه حول محاور موازية لخطوط القوة .

والقوة الحركية لهذه الحركة الزوبعية ليست إلا الطاقة المغناطيسية التي يعطيها، في كل نقطة من الحقل المعادلة (7) من معادلات و. تومسون . إن الخلايا المستقلة يفترض بها أن تكون مائعة، إن القوة النازعة عن المركز تمددها في خط استوائها ثم تقلصها بحسب خط القطب . ومن هنا تنتج توترات

وضغوطات مغناطيسية تعمل في الوسط كما تخيل فراداي. ويتيح النموذج حسابها. والقيم الحاصلة هي القيم التي اعطتها فيما بعد نظرية ظاهراتية صحيحة. ولكي ينتقل الدوران بنفس الاتجاه من خلية إلى أخرى، يجب الافتراض بأنها مفصولة بنوع من الدولاب ذي «الجلل»: وهذه «الجلل» أو الكرات، المتناهية الصغر تشكل الكهرباء. وهي حرة في ان تتحرك محدثة احتكاكاً داخل الموصلات، وتكون في الفراغ، وفي العوازل، مرتبطة بصورة مطاطية بالخلايا. والحقل الكهربائي العامل فيها يحدث في الموصل تياراً دائماً، وفي العازل يحدث تنقلاً كهربائياً محدوداً بالانعكاسات المطاطية بين الجلل والخلايا: وفي هذا التنقل يقوم الحث الكهربائي كما قال به فراداي.

وهكذا تتراكم في كل نقطة من «الجسم العازل» الخاضع للحث طاقة، هي، في النموذج، مطاطة إلا أنها في الواقع ليست إلا الطاقة الكهربائية. وقد اعطى مكسويل عنها تعبيراً له نفس الشكل الوارد في المعادلة (7)، حيث يأخذ الحقل المغناطيسي (E) محل الحقل المغناطيسي (H)، وتحل الثابتة العازلة (ε)، محل الشفافية. وهذا التعبير هو: (7 bis) $W_e = \int (\varepsilon E^2/8\pi)\, dV$ وكما هو الحال في كل وسط مطاطي، يولد انتقال الكهرباء المرتبطة بالخلايا توترات وضغوطات. وهي هذه التوترات والضغوطات الكهربائية التي تنبأ بها فراداي. ويتيح النموذج حسابها والنتيجة تكون صحيحة.

والعاقبة الأكثر اهمية في هذه النظرية هي أنه، إذا كان الحقل الكهربائي المؤثر في العازل الكهربائي ـ وهو مادة عازلة أو فراغ ـ يتغير مع الوقت فإن موقع الحبيبات الصغيرة من الكهرباء يتغير وينتج عن ذلك تيار انتقالي حقيقي يحدث حوله نفس آثار المغناطيسية التي يحدثها تيار جار في معدن، لأنه لا يختلف عنه بالطبيعة، ففي الحالتين يؤدي تحرك الحبيبات إلى دوران الخلايا. هذه النظرية «نظرية الزوابع الجزيئية» طورها مكسويل في كل تفصيلاتها وطبقها على التوالي على المغناطيس وفي التيارات وفي الكهرباء الستاتية. وهي تبدو لنا اليوم معقدة لأنها تدخل في كل خطوة فرضيات يصعب توضيحها. وقد تخلى مكسويل عنها فيما بعد.

ولكن يبدو من المؤكد أن النظرية قد أوحت له ببعض الأفكار وبعض النتائج الأساسية التي تحتفظ بكل قيمتها:

1 - احلال الطاقات في كل الفضاء. والطاقة المغناطيسية والطاقة الكهربائية ـ التي تتشابه التعابير فيها تبعاً للحقول ـ تلعبان، على التوالي دوري الطاقة المتحركة والطاقة الكامنة.

2 - الحساب الدقيق للتوترات والضغوطات الكهربائية والمغناطيسية حيث تنتج ـ كما افترض فراداي ـ القوى المحركة الثقيلة المتزنة.

3 في العازلات الكهربائية، بما فيها الفراغ، وجود تيارات ذات تنقل متناسبة مع السرعة الآنية في تغير الحث الكهربائي (D) (المسمى اليوم باسم التنقل الذي اعطاه اياه مكسويل)، وليس فقط تبعاً لكثافة الجزيئات وحدها كما توحي بذلك نظريات فراداي وموسوتي Mossotti.

وبالطبع انجز مكسويل، إذاً، إلى اضافة «عبارة تنقل» إلى الشق الثاني من المعادلة (8) فكتب (8 bis) $\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi u + \partial \mathbf{D}/\partial t$ وهذه هي بالتمام والكمال معادلته الأولى.

4 - إن قانون الحث ، الذي عبرت عنه المذكرة الأولى بواسطة الكامن الموجه ، يمكن أن يعبر عنه بشكل موازٍ بمعادلة تفاضلية هي ما يسمى بالمعادلة الثانية عند مكسويل :

إذا افترضنا « وحدة القوة الكهربائية » أي تماهي الطبيعة بين الحقل الكهربائي الستاتيكي والحقل الكهربائي المحرك الحثي ـ وهي فرضية وضعت ضمناً وفي الغالب ، خاصة من قبل ڤيبر ، وفي ما بعد بصورة واضحة وموسعة من قبل هـ. هرتز ـ هذا القانون يكتب : $rot\ E = -\partial B/\partial t$ (9) .

وينتج عن (9) ان التغير في الحقل المغناطيسي يولّد ضمن عازل ـ وكذلك ضمن موصل ـ حقلاً كهربائياً حاثاً ، وينتج عن (8bis) أنّ هذا الأخير التغير ايضاً، يولد بدوره حقلاً مغناطيسياً ، وهكذا دواليك (ضمن العازل ، يكون التبدل الكهربائي والحث المغناطيسي متناسبين ، تبعاً للحقول المقابلة : $(D = \epsilon E)$ ، $(B = \mu H)$ ؛ باعتبار (ϵ) هي الثابتة الكهربائية المثنوية و (μ) هي الشفافية المغناطيسية) . إن الاشارة الكهرمغناطيسية يمكنها بالتالي أن تنتشر تدريجياً في الفضاء . وتتيح النظرية حساب سرعة هذا الانتشار . وفي الفراغ تعادل هذه السرعة النسبة بين الوحدات ، أي انها تعادل سرعة الضوء . وبالنسبة إلى الأجسام الشفافة ، وجد مكسويل بين الثابتة العازلة ومؤشر الانكسار (n) العلاقة التالية : $\epsilon = n^2$ التي تثير ، وأثارت طيلة اكثر من ثلاثين سنة الصعوبات لأنها قلما تتحقق . ولكنها امنت نجاح « النظرية الكهرمغناطيسية في الضوء » عندما امكن اجادة فهم السبب في تشتت الألوان عبر الموشور .

الشكل النهائي لنظرية مكسويل ـ احس مكسويل بوهن ، وبالصفة الدقيقة جداً لنموذجه حول الأثير ، فنشر في سنة 1864 مذكرة بعنوان : « النظرية الديناميكية حول الحقل الكهرمغناطيسي » . وفيها ارتدت افكاره الشكل النهائي الذي بقي لها في كتابه (الوسيط في الكهرباء والمغناطيسية) (1873) الذي بقي انجيل الكهربائيين . والنتائج التي حصل عليها في سنة 1862 عرضت في هذا الكتاب ، ليس بشكل ظاهراتي دقيق ، بل بعد تقليص الفرضيات والصور : « إن وجود وسط اثيري نافذ إلى كل الأجسام»، «أوالية معقدة. . . خاضعة للقوانين العامة في الديناميك». ولكن «هدفي بشكل خاص توجيه فكر القارىء نحو الظاهرات الميكانيكية التي تمكنه من فهم الظاهرات الكهربائية . . . وهذا ذو قيمة توضيحية وليس تفسيرية » . إلا أن الطاقة المحددة المكان في الفضاء « تتوجد تحت شكلين مختلفين يمكن وصفهما بدون فرضية ، كتكثيفات كهربائية ومغناطيسية ، أو « وفقاً لفرضية كثيرة الاحتمال [ونحن نقول هذا] كحركة أو كتشويه لنفس المكان » .

من هذه المذكرة لا نذكر هنا إلا فكرة مهمة وخصبة : اعتبر مكسويل أن الطاقة الكهربائية قوة كامنة ، والطاقة المغناطيسية كمتحركة وقدم مكسويل التعبير الرياضي عن هذه الفكرة بالنسبة إلى معايير تمثيلية (مثل كميات الكهرباء الموردة ، وكذلك المعايير الجيومترية) والسرعات (زخم التيارات ، والسرعات المتحركة) . وكانت معاملات الجمود« الكهربائي » المشابهة للكميات ، والتي تتدخل في التعبير عن الطاقة الحركية هي معاملات حث .

وبعد هذا ، اتاحت الطرق المعتادة في الميكانيك التحليلي كتابة « معادلات لاغرنج » ومن هذه المعادلات انبثقت بصورة اوتوماتيكية ، اذا قبلنا بالقانون (8 bis) في الكهرومغناطيسية ، المعادلةُ (9) في

الحث ، وقيمة القوى المتحركة المتزنة (المعادلة 2) . وبقول آخر اتاح تطبيق المبادىء العامة في الميكانيك خفض عدد القوانين المستقلة التي تقدمها لنا التجربة . وإلى هذه النتيجة رمى تفكير هنري بوانكاريه عندما كتب : « لا يعطي مكسويل تفسيراً ميكانيكياً للكهرباء وللمغناطيسية . أنه يكتفي ببيان امكانية هذا التفسير » . والواقع أن هذا التفسير غير ممكن ، إنما لأسباب لم تعرف في اواخر القرن التاسع عشر .

وطبقت طريقة مكسويل هذه على نظرية الالكترونات ، وبسطها هـ. آ. لورنتز وج. لارمور J.Larmor . واستخدم هذا الأخير بشكل خاص ، بدلاً من معادلات لاغرانج ، مبدأ هاملتون الذي يقود مباشرة إلى الهدف بعد الاصرار على اعطاء « متكامل العمل » (intégrale d'action) ، حيث يتدخل « عامل لاغرانج » ، قيمةً قصوى (دنيا بشكل عام) .

وفي حالة الكهرمغناطيسية الكلاسيكية يتكون عامل لاغرانج من الفرق بين الطاقتين المغناطيسية والكهربائية. وتطرح اكثر من نظرية حديثة ، بعيدة جداً عن كل فكرة كامنة ميكانيكية ، وبصورة مسبقة، بعضاً من « العوامل اللاغرانجية» ، ثم تستخرج منها ، وبنفس طريقة الحساب ، علاقات [معادلات] قابلة للتحقق عن طريق التجربة . هذا التعميم الكثير الخصب في طرق الميكانيك يجد منشأه في عمل مكسويل

ضغط الاشعاع : يبقى علينا أن نتكلم أيضاً عن احد اكتشافاته : لقد وسع مكسويل في كتابه نظرية التوترات والضغوطات الكهربائية والمغناطيسية وطبقها على الضوء وبيَّن أنه عندما يكون الضوء ممتَصّاً أو معكوساً ، فيجب ان يضغط على المادة ضغطاً اشعاعياً ، وهو ضغط ضعيف جداً حسب قيمته بالنسبة إلى الطاقة النازلة .

وهذه النتيجة ، المرتكزة على نظرية خاصة قليلاً ، وضعت موضع الشك في بادىء الأمر . وفي سنة 1876 قرر « بارتولي » Bartoli أن هذه النتيجة هي اثر حتمي للمبدأ الثاني في الترموديناميك، مطبقاً على الطاقة المشعة . ولم تثبت هذه النتيجة بالتجربة إلا في سنة 1899 من قبل ليبيديف (Lebedev) ونحن نعرف الدور المهم الذي تلعبه في النجوم هذه الضغوطات التي قال بها مكسويل وبارتولي .

وآمل أنني استطعت تحسيس القارىء من خلال هذ التحليل الموجز ، بالالهام العميق وبالمرونة القصوى لفكر مكسويل . وعمله في الترموديناميك وفي نظرية الغازات هي أقل أهمية بقليل . ونحن لا نستطيع إلاّ الاكتفاء بالإشارة إلى هذه التجارب الكهربائية وإلى نظريته في الألوان وإلى أعماله الأخرى . ورغم انه كان من المستحيل تقريباً ـ وكذلك بالنسبة إلى غالبية الرجال في عصره ـ اعتبار الظاهرات الفيزيائية بغير تعابير التصاوير والحركة أي بالطريقة الميكانيكية ، فقد علّمنا عندما مات وهو ابن 48 سنة اساليب جديدة في التفكير .

XI - التثبت التجريبي وتطور نظرية مكسويل

الإنكسار الكهربائي المزدوج ومفعول رولاند Rowland : من بين التجارب التي اثارها نشر كتاب « الوسيط في الكهرباء » لمكسويل وتموجات الفكر التي اثارها ، لا نذكر منها إلا اكتشافين سابقين على اكتشافات هرتز .

في سنة 1875 اكتشف ج. كير J.Kerr رابطة جديدة بين الكهرباء وعلم البصريات : إن الأجسام الشفافة الكثيفة وكذلك السوائل تصبح مزدوجة الانكسار عندما تخضع لحقل مغناطيسي ثابت. وبحوالي ذات السنة طلب هلمولتز من الفيزيائي الاميركي هـ. آ. رولاند H.A.Rowland الذي جاء يعمل في مختبره، أن يتثبت من أنّ التيارات المحمولة أي الشحنات الكهربائية الستاتية المتحركة تحركاً انتقالياً ، تخلق حولها حقلاً مغناطيسياً كما افترض ذلك صراحة أو ضمناً بعض الفيزيائيين وخاصة فراداي وفيبر ومكسويل . وقد نشرت هذه البحوث في سنة 1876 : لقد احدث الصحن العازل المغطى فوق وجهيه بأوراق الذهب المشحونة بذات الاشارة ، والموضوعة في حالة دوران سريع ، نفسّ المفاعيل المرتقبة .

وقد وضعت هذه النتيجة موضع الشك بعض الوقت على اثر تجارب ذكية جداً ولكنها مشوبة بالخطأ من قبل كرميو V.Cremieu (1900) ولكن كل شيء دخل ضمن الترتيب عندما اكتشف سبب الخطأ من قبل بندر Pender وكرميو . ونشير أخيراً إلى أن « أثر رولاند » ، الحاصل من جراء حركة الشحنات ذات العلامة الواحدة ، هو اعتراض حاسم ضد المعادلة (6) التي وضعها فيبر ـ ولكن ليس ضد نظريات العمل عن بعد التي قال بها كلوزيوس Clausius وهلمولتز .

الأعمال الأولى التي قام بها هرتز : كان هنريك هرتز (1857 - 1894) ابن 21 سنة عندما دخل إلى مختبر هلمولتز في برلين وعندما تصدى لمسألة مطروحة كمسابقة من قبل كلية الفلسفة في الجامعة : « قياس الطاقة الحركية في الكهرباء المتحركة » ؛ أما وفقاً للتعابير الحديثة فالسؤال هو تحديد العلاقة m/e بين الكتلة والشحنة في حاملات التيار الكهربائي في المعادن . وفي آب 1879 منحته الكلية الجائزة . وقد استطاع ، عن طريق نهجين مبتكرين ، أن يقدر حداً اعلى للعلاقة المبحوث عنها . ومن وجهة نظرنا الحديثة تعتبر النتيجة سلبية : أن الحد المعثور عليه كان اعلى بكثير من القيمة الحقيقية .

ولم يكن هناك شيء يحمل على الظن ، بالنسبة إلى المعادن ، أن الشحنات الكهربائية المتحركة هي الكترونات اكثر خفة من ذرات الهدروجين بالفي مرة ؛ وأنه في سنة 1916 فقط ، وبواسطة وسائل اكثر قوة ومعارف اكثر اتساعاً استطاع تولمان Tolman أن يرصد وأن يقيس مفعولاً كان الفيزيائيون يومئذٍ قد لمحوا امكانية وجوده .

وبخلال نفس السنة 1879 لفت هلمولتز انتباه هرتز إلى مسألة اخرى طرحت في مسابقة اكاديمية العلوم في برلين : « التثبت تجريبياً من العلاقة بين القوى الكهربائية الديناميكية ، والتكثيف الكهربائي العازل » وكانت هنا مسألة من المسائل المركزية في الكهرباء المغناطيسية ، ومن حلّها يستخلص الاختيار بين النظريات ذات المفعول من بعيد ونظرية مكسويل . وفهم هرتز أن هذا الحل لا يحصل إلا بفعل تجارب حول التفريغات المتأرجحة للمكثفات . ولكن حساباته الأولية كانت لا تشجعه : إن الآثار المرتقبة ، بواسطة الوسائل المطروحة ، كانت اقصى امكانيات الرصد والملاحظة .

ولهذا اقلع عنها واهتم بمسائل اكثر بساطة في الكهرمغناطيسية ثم ، في الأعمال التي بقيت كلاسيكية ، اهتم بمسائل اللمس المطاطي والصلابة ، وبتبخر الزئبق في الفراغ وبالتفريغات الكهربائية في الغازات المنذرة .

وفي سنة 1884 اهتم من جديد بمسائل الكهرباء المغناطيسية ونشر مقالة نظرية « حول العلاقات بين المعدلات الأساسية في الكترودیناميك مكسويل والالكتروديناميك المعاكس ».

وبحذوه المثل الذي قدمه امبير الذي اكتشف مفاعيل التيارات على التيارات ، لأنه افترض وحدة القوى المغناطيسية ، وضع « مبدأ وحدة القوة الكهربائية». ثم طور المشابهة ، التي اشار اليها فراداي بين التيارات الكهربائية والحلقات المغناطيسية ذات الزخم المتغير ، أو « التيارات المغناطيسية » ؛ واستنتج منها أن هذه التيارات الأخيرة يجب ان تحدث حول نفسها حقلاً مغناطيسياً (بفعل الحث) ويجب أن تتلقى ، في حقل كهربائي ، قوى محركة متزنة . واتخذ كأساس « مقدمات مقبولة ايضاً في مجال الالكتروديناميك الخصم ، كما اتخذ اساليب في التحليل مألوفة في هذا المجال » ، فقرر عن طريق الحساب البسيط ، وإن غير المقنع تماماً ، صحة معادلات مكسويل .

اكتشاف ودراسة التأرجحات الكهربائية السريعة : عين هرتز استاذاً في كارلسرو سنة 1885 . وتركز انتباهه مجدداً على التأرجحات الكهربائية ، بالرصد العرضي للشرارات المنبثقة بالتناوب من حلقتين مزودتين بتيارين ضعيفي المحاثّة الذاتية والمواسعة . عندها راوده أمل معالجة المسائل التي كان يفكّر بها منذ سبع سنوات وذلك ضمن شروط اختبارية ملائمة . ونشر عمله بهذا الشأن في سنة 1887 تحت اسم : (Ueber sehr Schnelle elektrische Schwingungen) .

وهذه مقدمة عمله : « تقضي النظرية امكانية حدوث تموجات اكثر سرعة [من سرعة التموجات الملحوظة من قبل فيدرسن Feddersen] ضمن موصلات مفتوحة لا تحمل اطرافها شحنات ذات طاقة قوية . ولكن النظرية لا تستطيع أن تقرر ما إذا كانت امثال هذه التموجات يمكن أن تثار بقوة ملحوظة [لا يمكن التنبؤ بأن مقاومة الانقطاع حيث تنبثق الشرارة تنتقل عملياً من اللانهاية إلى الصفر بوقتٍ عجيب القصر اقل من 10^{-8} من الثانية] . وبعض الظاهرات قادتني إلى التفكير بحدوث هذا الأمر [الانقطاع] ضمن شروط ، وبقوة كافية بحيث تكون مفاعيلها قابلة للرصد من بعيد . إن التجارب اللاحقة قد ثبتت فرضيتي . . .

« إن هذه التموجات هي تقريباً أسرع بمئة مرة من التموجات التي درسها فيدرسن أما حقبتها ، وفقاً لتقديرٍ نظريٍ خالصٍ ، فهي من عيار جزء من اصل مئة مليون جزء من الثانية [طول الموجة ثلاثة امتار] . وجدواها تأتي من هذه الواقعة . ومن الممكن أن دراستها بصورة ادق تفيد نظرية الالكتروديناميك » .

إن التجربة الأساسية بسيطة : يشكل خيط من نحاس مطوي بشكل مستطيل « حلقة ثانوية » . وهو مقطوع من وسطه في احد اضلاعه بمكرومتر M ذي شرارات . وهناك خيط آخر موصل يربطه من احدى النقاط فيه P بحلقة ذات تفريغ في بوبين حث ، أي حلقة مفتوحة جداً مكونة من قضيبين مستقيمين موضوعين : الرأس على الرأس ، ويحملان في اطرافهما كرات تولد طاقات ، ومفصولة بمسافة يمكن التحكم بها ، منها تنبثق الشرارات الأولية . عندما توضع نقطة الاتصال P بشكل غير متناظر بالنسبة إلى الميكرومتر M ، تولد كل شرارة أولية شرارة ثانوية . ولكن إذا كانت النقطة P في

وسط الضلع المقابل من المثلث ، وإذا كان تقارن الشعبتين كاملاً : تزول الشرارة الثانوية أو تكاد تزول : عندها نكون في حالة اللامبالاة » .

إن وجود هذه النقطة اعطى هرتز مفتاح الظاهرة . وتنتشر الاضطرابات الكهربائية على طول الخطوط بسرعة متناهية . أما الشرارات الثانوية فسببها اختلاف في الزخم ، أي فارق موضعي أو مرحلي بين الذبذبات العالية السرعة في الزخم ، والتي سلكت سبلاً مختلفة في الحلقة الثانوية قبل الوصول إلى قطبي الميكرومتر . وهي تزول بذات الوقت مع زوال الاختلاف في المرحلة .

وتابع هرتز تجاربه فحصل ايضاً على شرارات ثانوية عندما الغى كل اتصال بين الحلقتين . ثم غيَّر في حجم الحلقة الأولية وقاس في كل مرة بواسطة الميكرومتر الثانوي الطول الأقصى للشرارات ، ثم رسم منحنى التجاوب وأخيراً لاحظ وجود عقدة تذبذب القوة الكامنة في منتصف الحلقة الثانوية .

وبعدها توفرت له كل العناصر في ابحاثه اللاحقة ومنها « المرنان » resonateur ، وحلقة بشكل مستطيل ، تتضمن ميكرومترا ذا شرارات ، ثم الرقاص ، وهو قضيب معدني مستقيم ، مقطع من أجل عبور الشرارات الأولى ، ويحمل في كل طرف في وضع قابل للتعبير مواسعة صغيرة مكونة من كر أو صفيحة معدنية .

انتشار الموجات الكهرمغناطيسية : وبعد ذلك تتابعت الاكتشافات بسرعة طيلة سنة . وفي تشرين الثاني 1887 ، نشر هرتز بحثاً حول « مفاعيل الحث المحدثة بفعل التفاعلات الكهربائية في العوازل » . وهذه المذكرة قدمت جواباً ايجابياً على المسألة التي طرحت منذ ثماني سنوات من قبل هلمولتز . وفي شباط 1888 ظهرت المذكرة الأساسية « حول انتشار المفاعيل الكهرديناميكية » وتبعتها بسرعة مذكرة ثانية حول « الموجات الكهرديناميكية في الهواء وانعكاسها » .

في بادىء الأمر صف هرتز تجاه احدى الصفائح في رقاصه صفيحة أخرى بواسطة خيط طويل مستقيم ، وحث في هذا الخيط ، عن طريق التزويج الكهربائي ، موجات انتشرت فيه ، فانعكست في الطرف الآخر وشكلت بالتالي موجات ساكنة . ولاحظ بواسطة المرنان العقد والبطون ، وقاس طول الموجة ثم عرف بالحساب التواتر الخاص في الرقاص واستنتج منه سرعة الانتشار ، ثم لاحظ التداخلات بين الموجات المنبثقة من الكفّة الثانية في الرقاص ، هذه التداخلات المنقولة عبر الهواء والتداخلات التي يوصلها الخيط ، ثم قارن بين السرعتين الانتشاريتين . واخيراً بيَّن في صالة طولها خمسة عشر متراً ان الموجات الهوائية تنعكس على حائط معدني وتولد في الفضاء موجات ساكنة.وبقيت هذه التجارب كلاسيكية ولكن الصعوبات كانت عديدة . ونتيجة خطأ في الحساب حول طاقة الرقاص عثر هرتز في البداية على سرعة مئتي الف كلم في الثانية . وقد صحح هذا الخطأ سريعاً من قبل هنري بوانكاريه . ومن جهة اخرى ولدت الاضطرابات ذات المنشأ التجريبي ، وخاصة الاماتة القوية التي اصابت ذبذبات الرقاص من جراء اشعاعه ، بعض الشكوك .

ولم تحسم المسألة نهائياً إلا بعد القياسات الدقيقة التي قام بها ليشر Lecher سنة (1890) ، ثم

سارازين Sarasin ول.دي لاريف La Rive سنة 1893: إن سرعة الانتشار في الخيوط وفي الهواء هي بالضبط سرعة الضوء.

وقامت سلسلة اخيرة من التجارب، نشرت اوصافها تحت عنوان: «حول اشعة القوة الكهربائية» في كانون الأول سنة 1888. وحسّن هرتز اجهزته فحصل على موجات قصيرة من عيار 30 سنتم، وتوصل إلى أن يطبق عليها كل قوانين علم البصريات: انتشار بخط مستقيم وانكسار، انعكاس وتشكل صور بواسطة المرايا المحدودبة، انحراف بواسطة موتور الصمغ، وتكثيف، وبالتالي اعتراضية التموجات. ومكنه محلله المكون من شبكة سن الخطوط المعدنية المتوازية من تبيين: «إن ذبذبة فرنل» كانت موازية للحقل الكهربائي المتولد من الموجة، ولذبذبة «نيومان ـ ماك كولاغ» Neumann - Mac Cullagh ذات الحقل المغناطيسي. وإذاً فقد فقد النزاع القديم حول الاتجاه الحقيقي للذبذبات الضوئية كل معناه. في هذه الأثناء حسب هرتز تفصيلاً الاشعاع الصادر عن رقاصه المستقيم ـ أو ما يسمى قطب هرتز المزدوج (1888، Die Kräfte) ومكنه هذا الحساب من توضيح تأويل كل تجاربه، واستخدمه فيما بعد كأساس للعديد من البحوث، وخاصة بحوث ماكس پلانك Max Planck حول «اشعاع الجسم الأسود»، وخاصة بحوث المنظرين الكانتيين حول اشعاع الذرات.

المفعول الكهرضوئي: لقد اكتشف هرتز فضلاً عن ذلك، «وبشكل عابر» ظاهرة غير متوقعة تقيم رابطاً جديداً بين الاوبتيكا والكهرباء، اهميته النظرية والعملية لم تنفك تتزايد هي: «تأثير الضوء فوق البنفسجي على التفريغ الكهربائي» أو كما نقول اليوم، الأثر الكهرضوئي. هذا العمل، الذي ظهر في حزيران 1887، هو نموذج في حسن الذكاء، وروح الرصد والدقة العلمية

نظرية هرتز: إن نتائج هذا العمل الشامل من البحوث كانت حاسمة. ولم يعد بالامكان الشك بان نظرية مكسويل والنظرية الكهرمغناطيسية الضوئية لم تصبحا بعد الآن الأساس الراسخ تماماً في الكهرباء وفي البصريات. وبقيت هناك عقبتان: تخليص عمل الفيزيائي الاسكتلندي من كل الهيكليات التي استخدمت في البناء وفي استكمال النظرية بشكل يعطي توضيحاً عن الظاهرات التي لم يعد ممكناً التوصل إلى ادخالها في هذا الاطار العام، وخاصة الالكترودناميك وبصريات الأجسام المتحركة ثم تشتت الضوء.

وقام هرتز بأولى هذه المهمات وبقسم من المهمة الثانية. وعرض نظريته في مذكرتين ظهرتا سنة 1890: «حول المعادلات الأساسية في الكترودناميكية الأجسام الساكنة»، ثم «حول المعادلات الأساسية في الأجسام المتحركة» (Ueber die Grund gleichun...) أما نهجه المتبع والذي بقي كلاسيكياً فقد كان يدخل في باب الظاهراتية والمسلمات. ويقترب هذا النهج من النهج الذي استعمله و. هيفيسايد O.Heaviside في سلسلة من الأعمال السابقة (1885) والمعاصرة. ورفض هرتز كل نموذج ميكانيكي، وقبل كمعطيات للتجربة المعادلات الأساسية التي قبل بها مكسويل، وعددها تسعة (ان التعبير (7) و (bis 7)، عن الطاقات، ثم المعادلتين (bis 8) و (9)، والتي تربط فيما بين الحقلين،

والمعادلتين اللتين تعبران عن عدم وجود تفارق في أنابيب الحث المغناطيسي ، وتفارق في أنابيب الحث الكهربائي انطلاقاً من الشحنات الكهربائية ، وأخيراً الروابط الثلاثة حول الحث والحقول في العوازل والأجسام المغناطيسية ، وبين الحقل وزخم التيار في الموصلات ، هي علاقات تحدد الثابت العازل الكهربائي ، والترشيح المغناطيسي ثم التوصيلية) ، وبيّن هرتز أن المعادلات الأساسية المذكورة لمكسويل تتوافق مع مبدأ حفظ الطاقة ، بعد أن استخدم قاعدة اقرها بوانتنغ Poynting سنة 1884 حول الوجود وحول التعبير عن دفق الطاقة المرتبط بوجود متزامن ، في ذات النقط ، لفضاءِ حقلٍ كهربائي وحقل مغناطيسي . واخيراً استنتج ، من ذلك ، النتائج وقارنها بوقائع التجربة . واضاف :

« ليست كل صيغة معزولة يمكن في الوقت الحاضر اثباتها بالتجربة ، بل النظام بمجمله فقط وفضلاً عن ذلك قلما يوجد سبيل آخر غير نظام المعادلات في الميكانيك العادي » .

إن الاتفاق مع التجربة بديع ، باستثناء نقطة مهمة : إن المعادلات التي تصف ، وفقاً لهذه النظرية الخصائص الكهرمغناطيسية في المادة ، والتي تستخدم فقط ثلاث ثوابت هي التوصيلية والترشيح المغناطيسي ثم الثابتة العازلة الكهربائية ، لا يمكنها أن تمثل بشكل مناسب احداثاً معقدة للغاية . وهذا النقص يرتبط بمفهوم جامد جداً للمنهج الظاهراتي أو الحدثاني : باعتبار أن الحقول هي المقادير الأساسية التي تقاس فعلاً ، فقد مال هرتز والفيزيائيون من مدرسته إلى معالجة الشحنات والتيارات الكهربائية كمجرد فرائد في هذه الحقول : مناطق تلاقي أو افتراق خطوط الحث الكهربائي ، وخطوط زوبعة الحقل المغناطيسي .

مسألة « جر الأثير » : ودونما تشديد على الظاهرات مقدة في المغنطة ننظر إلى الثابتة العازلة في عازل ما . « في نظرية الأجسام الساكنة» أن هذه الثابتة هي عدد قابل للقياس بفعل تجربة ستاتية : ويحدد دفعة واحدة الخصائص الكهربائية والبصرية بشكل معين . ويتوجب ، وفقاً للمعادلة (10) أن تكون مسألة جر الأثير مساوية لمربع مؤشر الانكسار . ولما كان هذا المؤشر غير ثابت ويتعلق بطول الموجة : فالنظرية لا تعطي توضيحاً عن التشتت اللوني (الكروماتيك) للضوء . ولكن حدث أمر بدا اكثر خطورة في اعين معاصري هرتز : فبالنسبة إلى المثوي الكهربائي « المتحرك » ، لا يوجد في نظريته الا خياران : أو أن خطوط الحث الكهربائي مرتبطة بالجسم وتلحقه في تنقله ، وهذه هي الفرضية الأكثر بداهة والتي اعتمدها والتي سميت باسم « الجر الكامل للأثير » ؛ أو ان خطوط الحث الكهربائي تبقى جامدة .

إن التجربة لا تثبت أياً من الفرضيتين : يوجد « جر جزئي» وقد افترضه فرنل منذ 1818 واقر بالنسبة إلى معدل « انجرار الأثير » معادلة دقيقة تثبتت بصورة مباشرة سنة 1851 على يد فيزو Fizeau (انظر بهذا الشأن دراسة مدام م ـ آ . تونيلات Tonnelat الفصل 2 من هذا القسم) . وفي سنة 1903 قام ايخنولد Eichenwald بدراسة مباشرة لانجرار خطوط الحث بواسطة اسطوانات عازلة للكهرباء في حالة دوران سريع ، وتثبت في هذه الحالة من المعادلة التي اقترحها فرنل ، معتبراً أن الثابتة « تحل محل مربع المؤشر فقط .

تشتت الضوء والإنعكاس المعدني : أما نظرية تشتت الضوء فقد ارتدت شكلها الحديث عندما

اكتشف لي رُو Le Roux في بخار اليود ظاهرة التشتت الشاذة (1862) وعندما اكتشف كوندت Kundt في سنة 1871 علاقة هذه الظاهرة بالامتصاص : فعلى مقربة من شريط الامتصاص يخضع مؤشر الانحراف لتغييرات كبيرة . فمن جهة اللون البنفسجي يكون اتجاه هذا التغير غير طبيعي ، ويكبر المؤشر مع طول الموجة . وبعد ذلك بقليل ، في سنة 1871 اكتشف سلمير Sellmeier أن الأمر يتعلق بمفعول تجاوبي يعزى إلى وجود توترات خاصة في الجزيئات .

وتوضحت هذه النظرية الميكانيكية ـ التي سبق أن شعر بها مكسويل في سنة 1869 ـ من قبل هلمولتز في سنة 1875 . وبعد ذلك بعدة سنوات أي في سنة 1878 ، قام هـ.ي لورنتز بترجمة هذه النظرية إلى لغة الكترومغناطيسية . وعاد هلمولتز بصورة مستقلة إلى هذه المهمة سنة 1892 . وهنا نصل إلى لحظة مهمة في تاريخ النظرية الكهربائية : إن وجود تواترات خاصة ذاتية محددة بوضوح يقتضي بالضرورة أن توجد في الجزيئات وفي الذرات مرنانات كهربائية ذات قطبين ، أي جزئيات مادية لها ، بآنٍ واحد ، شحنة وكتلة محدّدتان تماماً . وهنا يكمن أحد مصادر نظرية الالكترونات .

وتثبتت معادلة التشتت التي قال بها هلمولتز، ابتداء من سنة 1895، من قبل روبنس Rubens ومعاونيه ، بواسطة عدد من البلورات الشفافة . ومن ثوابت هذه المعادلة مؤشر الانحراف في طول موجة لا نهائي ، وفي كل الحالات المدروسة ، اكتشف مربع هذا المؤشر ـ مع تحفظ بالنسبة إلى اخطاء التجربة ـ معادلاً الثابتة العازلة الكهرباء (المعادلة رقم عشرة) . وهكذا وجدت نظرية مكسويل المصححة تأكيداً لها ثابتاً .

وعرضت صعوبة مماثلة بالنسبة إلى القوة العاكسة في المعادن . هذه القوة التي يجب أن تكون ، حسب رأي مكسويل وظيفة محددة تابعة للتوصيل . ولم تكن نظرية التشتت في المعادن معروفة في تلك الحقبة ولكن هذه الصعوبة حلتها التجربة : ففي سنة 1902 استخدم هاجن وروبنس الأشعة تحت الحمراء ذات الموجة الطويلة جداً ، وفي مجال أبعد من كل شريط امتصاص انتقائي ، وبيّنا في هذا المجال أن العلاقة التي عثر عليها مكسويل كانت تتفق تماماً مع الوقائع .

اختراع التلغراف بدون خط (TSF) : يبقى أن نقول بعض الكلمات عن احدى النتائج الأكثر اهمية في تجارب هرتز وهي اختراع التلغراف بدون خط وتقدمه السريع : تاريخ معقد ، كما يحصل لكثير من التطورات التقنية ، والتي اثارت مع الأسف ، وفي العديد من البلدان مشاعر وطنية . والواقع ، ورغم أن مكسويل وهرتز لم يهتما بنقل الاشارات لمسافات بعيدة ، إلا أنهما بدون منازع الابوان للتلغراف : فقد وضع احدهما الأسس النظرية ووضع الثاني القواعد التجريبية . اما الباقي فلم يكن إلا استكمالاً تقنياً رغم صعوبته في اغلب الأحيان .

ولكن من المؤكد أن رقاص هرتز كان ضعيف القوة كما كان مرنانه ذو الشرارة ذا انتاج ضعيف . إن الانتاج الأقصى الذي بلغه هذا المذياع كان عشرين متراً ، دون أن يتكلف هرتز البحث عنه . وكان لا بد لنقل البرقيات لمسافة بعيدة من مرسلات اقوى ، ومن متلقيات اكثر حساسية .

ومشكلة المتلقي وجدت حلها أولاً بفضل ظاهرة كانت بخلال القرن التاسع عشر ، موضوع العديد من البحوث المشتتة ، أنها ظاهرة عثر عليها من جديد في سنة 1890 ادوار برانلي Edward

Branly ، الذي ، وإن لم يتوصل إلى وضع نظرية صحيحة لها ، فقد اخضعها لدراسة متقدمة أدت في النهاية إلى صنع آلة تستعمل مباشرة من الناحية العملية ، هذه الآلة هي انبوب حثالة الحديد . وكان هناك بعض السابقين إليها ومنهم : في سنة 1835 مونك روزنشول (Munk af Rosenschoel) الذي مرّر تفريغات شحنة قنينة ليد ، عبر انبوب يتضمن حبيبات من القصدير ومن خليط الزئبق أوالكربون ، فلاحظ أن المقاومة الكهربائية في الأنبوب تتناقص فجأة بعد كل تفريغة ، ثم تعود إلى حالتها الأولى المرتفعة بعد الخض .

وفي سنة 1842 رصد ج . هنري J.Henry ـ دون أن يفهم الظاهرة ـ النقل البعيد ، عن طريق الحث ، للدفقات الكهربائية المحدثة بفعل شرارات قوية . وفي سنة 1856 اعلن الأخوان فارلي Varley في شهادة لهما أن « المادة الموصلة ، بشكل مسحوق تقاوم مقاومة شديدة التيار ذا الضغط المعتدل ، ولكنها تقاوم مقاومة ضعيفة تياراً مرتفع التوتر » .

وفي سنة 1878 ، وقبل هرتز بعشر سنوات ، قام د . ي هيوز Hughes بمحاولات من شأنها أنها كانت اكثر جدوى . فاثناء البحوث التي جرت حول الميكروفون وضع هيوز في حلقة تتضمن بطارية وتلفوناً ، ميكروفوناً كربونياً مرة ، ومرة اخرى انبوب زجاج يحتوي على حتّ معدني . وفي الحالتين لاحظ ان جهازه كان حساساً بالنسبة إلى تفريغة جرت على مسافة ما . وهكذا استطاع بواسطة الميكروفون التوصل إلى مجال مقداره 500 متر . وخطرت له الفكرة بان الأمر يتعلق هنا بانتشار موجات ، ولكنه لم يعرف كيف يقدم الاثبات على ذلك .

واعتقد بعض اعضاء الجمعية الملكية العظام الذين عرضت عليهم هذه التجارب انها ليست إلا مفاعيل حث عادية . وتخلى هيوز محبطاً عن بحوثه مكتفياً بنشرها سنة 1899 .

وفي تشرين الثاني 1890 ، وفي مذكرة ضمن (التقارير) إلى اكاديمية العلوم « تغيرات التوصيل تحت المؤثرات الكهربائية المنوعة » وصف ا . برانلي E.Branley قياسات المقاومة في انبوب مملوء بالحت الناعم ، المعدني حيث يغطس ألكترودان . وعندما تنبعث شرارة قرب هذا الانبوب ، إما من آلة ثابتة وإما من بوبين حث تزداد التوصيلية فجأة بنسبة يمكن أن تكون من عيار واحد إلى ألف

« يتناقص المفعول عندما تزداد المسافة . ولكن هذا العمل يلحظ بسهولة . . . من بعد عدة امتار . وباستعمال جسر ويتستون Wheatestone ، استطعت أن الحظ هذا الأثر على مسافة تزيد عن عشرين متراً ، في حين كان الجهاز الذي يولد الشرارات يعمل في قاعة مفصولة عن الغلفانومتر بثلاث قاعات كبيرة . . . وجرى تعطيل تغير المقاومة تماماً ، عند ضرب الطاولة التي تحمل الأنبوب عدة ضربات قصيرة ولكن حادة » .

إن وصف الوقائع كان موضوعياً تماماً . ورغم اختلاف الظروف تماماً ، كان « المدى » هو ذاته كما هو في بعض تجارب هرتز ـ الذي لاحظ هو ايضاً شفافية الحواجز العازلة الخشبية (مثلاً) أمام هذه الموجات . ولكن برانلي لم يشر إلى اية علاقة بين الظاهرتين : ولا نعثر عنده على أية اشارة إلى موجات كهربائية تنتشر في الفضاء ، لا في هذا النص ولا في مذكرة ثانية (كانون الثاني 1891)، مخصصة لبدائل

اخرى من انبوب الحتاتة ، ولا في مقالة نشرت سنة 1892 في مجلة الفيزياء تحت عنوان « التوصيل في الأجسام العازلة » وفي سنة 1895 فقط ، وبحسب معرفتي على الأقل أشار برانلي لأول مرة إلى تجارب هرتز وخلفائه ، في كلمة وردت في « مجلة الفيزياء » : « استعمال انابيب الحتاتة في دراسة التداخلات الكهربائية » .

وهذه هي البداية : « من مدة قريبة ، ومن أجل تكرار تجارب هرتز لجأ العديد من المؤلفين إلى انابيب الحتاتة التي عرِّفْتُ في سنة 1890 وسنة 1891 تغيراتِ المقاومةِ فيها بواسطة التيارات ذات الضغط المرتفع » .

وتلت توضيحات حول كيفية استخدام هذه الأنابيب (بدون اية مطالبة بتفضيل بعضها على بعض في الاستخدام عند دراسة الموجات الهرتزية) ، واخيراً انتقاد لبعض افكار لودج حول الظاهرات المحدثة ضمن الأنبوب .

وفي سنة 1892 واثناء عرض تجارب برانلي Branly في أدنبره ، اشار ج . فوربس G.Forbes إلى امكانية استخدام انبوب الحتاتة ككشاف للموجات الهرتزية . وانبرى العديد من الفيزيائيين إلى العمل في بريطانيا . وابتداءً من 1893 تتالت النشرات في « الفيزيكال سوسيتي » في لندن ، وخاصة من قبل اوليفر لودج OliverLodge.وفي السنة التالية ادخل هذا الأخير تحسينات على الجهاز وسماه « المكشاف » «Cohéreur» وأدخله ضمن حلقة فيها جرس ، أو جهاز مورس مخصص لتسجيل الاشارات وزوده « بعضيع » Décohéreur ذي رجفات ، وفقاً للاسلوب الذي عينه برانلي Branly ، واصبح هذا المتلقي بعد ذلك مهيأ للدخول في الاستعمال الصناعي ، واستخدم في الصناعة حصراً ، باشكال متنوعة حتى بدايات القرن العشرين . وفي اميركا خطرت للمهندس نقولا تسلا Tesla ، وأصله من دالماسيا ايضاً ، وبصورة باكرة فكرة استعمال الموجات الكهربائية والاشارات وحتى القوة الميكانيكية . ومن سنة 1890 إلى سنة 1893 قام بتجارب وبمحاضرات ناجحة . ولم يبق من اجهزته إلا بوبين تسلا ، وهو محول ذو توتر مرتفع . وخطرت له أيضاً فكرة الكشاف المغناطيسي . ولكن هذا الجهاز لم يتحقق إلا في سنة 1897 من قبل ارنست روذر فورد Rulherford ، وكان أول انتاج تجريبي لديه .

ويجب أن نضيف أيضاً أنه في سنة 1890 ، وفي مجال بحوث العلم المحض ، بنى هـ . روبنس H.Rubens وريتر Ritter لاقطاً « بولومترياً » حساساً جداً يقاس زخم الموجات فيه بواسطة التسخين الذي تحدثه هذه الموجات في موصل رقيق للغاية .

إن تاريخ التلغراف فيما بعد كان اكثر غموضاً . في سنة 1894 اهتم العالم الروسي بوبوف Popov بالتفريغات الجوية حيث شك بوجود تأرجح فيها ، كما حصل لآخرين قبله . وللتثبّت من هذه الفرضية ، خطرت له فكرة دراستها من بعد بواسطة كشّاف من نمط برانلي ـ لودج Branly - Lodge ، ولكي يزيد حساسية هذا الكشاف ربطه بانبوب طويل معدني عامودي أي هوائي (آنتين) . وإذاً إن أول من استخدم الهوائي المتلقي هو بوبوف . وفيما بعد ، وربما بعد 1896 ، قام بتجارب نقل من بعيد لمسافة تتراوح بين كيلومتر وخمسة كيلومترات .

وفي نفس الحقبة تقريباً كان ماركوني Marconi يجري في السر بحوثاً مماثلة ونشر نتائجها الأولى في

سنة 1896 ، وتابعها بمثابرة طيلة سنوات من اجل التوصل إلى انجازات صناعية . ويبدو أنه كان الأول الذي استعمل هوائيات مرسلة مرتفعة القوة . وهكذا استطاع ان يزيد في قوة الموجات وطولها من عيار كيلومتر ، وبالتالي توسيع المدى . فبلغ هذا الأخير 10 كلم سنة 1896 ، و 70 كلم في سنة 1897 ، وفي سنة 1901 تم وصل المسافة بين اوروبا واميركا .

XII - الايونات في الالكتروليت (المحاليل السائلة) وفي الغازات

تطور الأفكار حول ماهية الكهرباء

لو أن فراداي كان اقل حذراً وخشية من « صياغة الجمل الذرية » لكان اكتشف منذ سنة 1833 الشحنة الكهربائية البدائية . والأحداث التي رصدها ، والقوانين التي اكتشفها ، كان يفترض بها بالضرورة ان توصل خلفاءه اليها . ولكن المسألة لم تكن ناضجة بعد .

تأويل ظاهرات الالكتروليت :ومن جهة اخرى افترض فراداي ان تفارق الجزيئات أو انشطارها إلى ايونات لا يحدث إلا بعد تكثيف مسبق بفعل الحقل الكهربائي . ولكن هذه الفرضية لم تكن جديرة بالحفظ . وهذا ما أشار إليه كلوزيوس Clausius سنة 1857 : أن صلاحية قانون أوهم **Ohm** ، في عمليات التحليل (الكتروليت) تضطرنا إلى افتراض وجود ايونات حرة غير محددة التكثيف ، قبل تطبيق أي حقل . إن الحقل الكهربائي يقدم فقط القوة التي تتغلب على مقاومة السائل ، فتمرر فيه ، باتجاه معاكس ، نحو الالكترودات ايونات ذات اشارات مختلفة .

وتوضحت قوانين هذه الحركة في سنة 1863 من قبل هيتورف Hittorf الذي استعاد بشكل منهجي المعايير الكيميائية التي استعملها فراداي ، في الجيوب الآنودية والكاتودية ، فبين أن الايونات المختلفة الاشارة لا تتجول عموماً بنفس السرعة .

واستنتج من تقلبات التركيزات المكتشفة بواسطة التحليلات التي قام بها ، واستنتج ، بتحليل عقلي بسيط ، اعداد نقل الايونات من النوعين، أي انه استنتج اجمالاً النسبة $u+ / u-$ من تحركاتها أو سرعاتها ضمن حقل معتبر وحدة . هذه العلاقة ، التي ادت إليها التجربة يمكن أن تختلف جداً عن الوحدة . وفي هذا اعتراض خطير على نظرية ڤيبر .

وبقيت المسألة على حالها حتى سنة 1874 ، فقام أ. و. كوهلروش E.W.Kohlrausch عندئذٍ - بواسطة جسر كوهلروش ، وهو آلة ظلت متداولة الاستعمال - بتحقيق قياسات منهجية حول توصيل الالكتروليت ، تبعاً لدرجة تركيزها .

وأدخل فكرة التوصيلية الجزيئية الجزيئية ذات الرمز $(\lambda = \sigma/c)$ الحاصل بتقسيم درجة التوصيل (σ) على الكثافة أو التركيز الجزيئي (c) (عدد المول في الليتر) وبين أن (λ) تتجه نحو حد محدد عندما يصبح التسييل لا متناهياً والانشقاق كاملاً . إن قيمة هذا الحد تعطي مجموع $(u_+ + u_-)$ الحركتين. من هذه النتائج التي نشرت من سنة 1876 حتى سنة 1879 ، وكذلك من النتائج التي توصل إليها هيتورف Hittorf نستخلص القيم الحقيقية للحركيات، وهي الطرح الجزيئي المهم. إن الرصد المباشر لهجرة الأيونات الملونة اثناء التحليل (الكتروليز) ، يثبت تماماً الأعداد المحسوبة على هذا

الشكل والتي هي من عيار أجزاء من مئة من الملم في الثانية الواحدة ضمن حقل فولت في السنتم

ادخال الذرية في الكهرباء : من مجمل الأحداث المكتشفة بفعل التجربة كان من الواجب استخراج فكرةٍ ،على الأقل في التحليل (الكتروليز) ،تشكل الشحنات الكهربائية كجزئيات حقيقية مادية . وقد دعمت هذه الفكرة في سنة 1874، في الجمعية البريطانية ونشرت في سنة 1881 من قبل ج . جونستون ستوني G.Johnstone Stoney : فأثبت وجود وحدة طبيعية للشحنة الكهربائية التي يحملها الأيون ذو الشعبة الواحدة الوحيد التكافؤ (مونو فالان) ، وحسب هذه الشحنة البدائية مستعملاً معطيات قليلة الوضوح كانت متيسرة في ذلك الزمن حول عدد آفوغادرو Avogadro ، وتوصل إلى قيمة اقل بعشرين مرة . وفي سنة 1891 اطلق على هذه الشحنة الأولية اسم « الكترون » .

في محاضرة شهيرة اجريت في سنة 1881 أمام الجمعية الكيميائية في لندن بيّن هلمولتز بقوة امام الفيزيائيين والكيميائيين بانه من الواجب اعطاء الكهرباء ، كما المادة ، بنية ذرية . وتناولت هذه المحاضرة « تطور مفاهيم فراداي حول الكهرباء . وأشارت المحاضرة إلى السبيلين اللذين فتحهما في الكهرباء المجرب الانكليزي الكبير : نظرية الحقول التي وضّحها مكسويل والنظرية الذرية حول الموائع الكهربائية والتي كانت ما تزال في بداياتها . قال هلمولتز : « إذا قبلنا الفرضية القائلة بأن المواد الأولية تتألف من ذرات ، فلا يمكننا تجنب الاستنتاج بان الكهرباء سلبية كانت أم ايجابية ، تقسم إلى جزئيات أولية محددة تتصرف وكأنها ذرات من الكهرباء » .

التقدم اللاحق في نظرية الالكتروليت : سوف تفرض هذه الأفكار نفسها وتتوضح بفضل البحوث حول توصيل الكهرباء عبر الغازات التي سوف نلخص قصتها بعد أن نكون قد تتبعنا حتى نهاية القرن التاسع عشر تطور نظرية الالكتروليت .

ووقع اكتشاف تجريبي مهم على يد راولت Raoult في سنة 1882 - 1883 . بين هذا الفيزيائي أن انخفاض نقطة التجمد في سائل ما يتضمن جسماً مذاباً ، هذا الانخفاض يتناسب مع عدد الجزيئات (أو المولاتmoles) في هذا السائل ، ضمن « وحدة الحجم » ، ومن هنا ينتج تحديد جديد للكتلات الجزيئية. ولاحظ أيضاً أن الالكتروليات القوية [أو السوائل القوية] ، مثل الأملاح المذابة في الماء ، تحدث انخفاضاً كبيراً بشكل غير معهود بمقدار ما تتفكك . وعثر راولت ايضاً على علاقة وثيقة بين هذا الخروج وبين عدد وتكافؤ الايونات المحدثة بفعل جزيء الكتروليت . ثمّ وسّع فيها بعد هذه القوانين فشملت ظاهرات أخرى مثل ضغط البخار والغليان (حول هذا الموضوع يراجع بحث ج . آلار في الفصل 6 من هذا القسم) .

وفي سنة 1884 ربط فانت هوف Van't Hoff ، في دراسته حول « الديناميكية الكيميائية » قوانين راولت بوجود ضغط امتصاصي « أوسموتيكي » ، في المحلولات، ضغطٍ يخضع ، عندما يكون التذويب كبيراً ، لقوانين الغازات : قوانين بويل Boyle ، وغاي ـ لوساك Gay - Lussac ، وآفوغادرو . وفي سنة 1887 أوجد سفانت أرهينيوس Svante Arrhenius نظرية التذويب الالكتروليكي ،فأوضح وجهات نظر كوهلروش Kohlrausch ، واستنتج قياسات نقاط الذوبان

والتوصيلية ، ودرجات تفكك الجزيئات المذوبة(وهو تفكك متقدم في حالة الالكتروليت القوي) . وقد أثارت نظرية ارهينيوس العديد من الاعتراضات من قبل الكيميائيين وحتى الفيزيائيين . فقد كان من غير المفهوم كيف يمكن أن توجد في حالة الذوبان أيونات حرة من العلامتين الايجابية والسلبية ، هذه الأيونات التي يتآلف بعضها مع بعض ، والتي يجب اعطاؤها خصائص تختلف تماماً عن خصائص الذرات المقابلة ، في الحالة الغازية .

ورغم ذلك فقد فرضت نظرية ارهينيوس نفسها بصورة تدريجية بفضل اعمال ويلهلم اوستولد Ostwald وولتر نرنست Walther Nernst . وكان هذا تطور الفيزياء الكيميائية الحديث ـ الذي احتفظ بالجوهري من افكار ارهينيوس ، مع تصحيح تقديراته لدرجات الذوبان ، مع مراعاة تفاعلات كولومب بين الايونات . لن نحتفظ هنا إلا بتحليل مهم قدمه نرنست سنة 1889 ، وطبق فيما بعد على الايونات الغازية خطرت لنرنست فكرة مقارنة حركة الايونات تحت تأثير القوى ذات المنشأ الامتصاصي (الاوسموتيكي) ، أي انتشارها في محلول يسود فيه مذاب مركز ، ومقارنتها بحركة يعطيها إياها حقل كهربائي خارجي . ولم يصعب عليه تبيين ان علاقة الحركية (u) بمعامل الانتشار (D) تحقق المعادلة : $u\ D = Q\ RT$ حيث تعتبر (Q) هي الشحنة المحمولة بالايون غرام (Q = zF) في حالة الالكتروليتات ، F هي الفراداي و z تكافؤ الايون ، و R هي ثابتة الغازات و T هي درجة الحرارة المطلقة .

البطاريات القابلة للقلب : الظاهرات الكهربائية الشعيرية : إن تقدم معارفنا حول الالكتروليت جر وراءه تطوراً موازياً لافكارنا حول القوى الكهربائية المحركة . من وجهة نظر عامة أولاً بين كل من جوزيا ويلار جيبس Josiah Willard Gibbs (1839 - 1903) في القسم الثاني ، الذي ظهر سنة 1878 ، من بحثه الأساسي « التوازن بين الأنظمة المتفارقة » ثم منفصلاً عنه ، هلمولتز ، في سنة 1882 : أن القوة الكهربائية المحركة في بطارية قابلة للقلب تقيس « الطاقة الحرة ، في التفاعل الذي يحصل بداخلها ، ولا تقيس طاقتها كما كان يظن جامس طومسون James Thomson وبرتيلو Berthelot . والفرق بين الطاقة الحرة والطاقة مرتبط بتنوع القوة الكهربائية المحركة مع درجة الحرارة ، وفقاً للمعادلة الترموديناميكية التي وضعها جيبس وهلمولتز Gibbs - Helmholtz والتي ثبتت بالتجربة سنة 1886 .

أما أوالية الظاهرات التي تحرك الكهرباء ، وخاصة ما يتعلق بدور مختلف انواع التماس بين الأوساط المختلفة ، فقد كانا موضوع العديد من البحوث ومن النقاشات الحادة .

ومنذ 1853 اقترح هلمولتز في نظريته حول « الطبقات المزدوجة » الكهربائية ـ المشابهة للوريقات المغناطيسية ـ صورة كان من شأنها حُسنُ توضيح مفاعيل التماس : فعبر طرفي سطح يفصل بين جسمين مختلفين تتراكم شحنات ذات اشارتين مختلفتين ، كما يحدث فوق هيكليات مكثف تعادل سماكته مقياس المسافات الجزيئية . ويرتبط بهذه الطبقة المزدوجة بالضرورة فارق في الضغط عند نقطة التماس . وطوَّر هلمولتز هذه النظرية ووسع تطبيقاتها في سنة 1879 في مقالة له بعنوان : «دراسة حول الكهرباء» .

وقبل ذلك بعدة سنوات أي في سنة 1873 قام غبريل ليبمان Gabriel Lippmann بدراسة كاملة ووافية للظاهرات الكهربائية الشعرية الحاصلة في التغيرات التي يتلقاها التوتر السطحي في كاتود من الزئبق مغطس في محلول خفيف من الآسيد سولفيريك ، عندما تُغيَّرُ حالتُه الاستقطابية بقوة كهربائية محركة خارجية .

هذه المفاعيل القابلة للقلب والتي لم تكن ملحوظة كثيراً في سنة 1870 من قبل فارلي Varley ، غدت احدى وسائلنا القوية في الاستقصاء عن بنية الطبقات المزدوجة معدن ـ الكتروليت ، وهي رئيسية بالنسبة للطاقة التي تقدمها البطاريات . ونتج عن عمل ليبمان ، ليس فقط ميزانه الكهربائي الشعري [الكترومتر] وهو آلة ما تزال مفيدة ، بل صدرت عنه ايضاً طرق مهمة في فيزياء الكيمياء : مثل طريقة الالكترود ذي النقط ،ومثل التحليل الاستقطابي الخ . وساد الظن لفترة من الزمن بأن الظاهرات الكهربائية الشعرية تساعدنا على حل مسألة كانت ما تزال مطروحة منذ البحوث التي قام بها فولتا : وهي قياس الفرق في زخم التماس بين اجسام مختلفة . ولكن في سنة 1878 بين جيبس Gibbs أن هذا القياس مستحيل دائماً وانه عارٍ عن المعنى .

في سنة 1877 رسم هلمولتز نظرية حرارية ديناميكية للبطاريات ذات التركيز ، وفيها لا يتدخل التماس معدن ـ الكتروليت ، بل فوارق التركيز بين محلولين في ذات الالكتروليت . وقد استكملت هذه النظرية الناقصة في سنة 1899 بفضل نرنست Nernst الذي استطاع أن يقدر ـ بفضل مفاهيم جديدة وضعها فانت هوف وارهينيوس ـ عمل « التمدد الامتصاصي الاوسموتيكي » الذي يحدثه الالكتروليت عندما ينتقل من محلول إلى آخر . ووسع نرنست مجال تطبيق هذه الأفكار، حتى أنّه اقترح نظرية عامةً ، شكلية قليلاً ، حول البطاريات القابلة للقلب ، مرتكزة على صورة امتصاصية (أو سموتيكية) وخاصة على صورة « ضغط المحلول » (من معدن في سائل مثلاً) وهو ضغط يشبه ضغط البخار .

التفريغات الكهربائية في الغازات النادرة والأشعة الكاتودية : في حين أن تطور افكارنا حول الالكتروليتات يمكن أن يعتبر تطوراً طبيعياً لملاحظات فراداي الأساسية ، كان تقدم معارفنا حول توصيل الكهرباء من خلال الغازات بداية بطيئة لثورة .

ومع ذلك فإن البحوث حول هذه الظاهرات كانت قديمة جداً . ولكنها اقتصرت على ملاحظات معزولة . نذكر منها ملاحظات جيلبرت ، ودوفاي ، وفرنكلين ، والأب نوليه، وخاصة ملاحظات هوكسبي وواتسون حول التفريغ في الهواء النادر .

وخصص فراداي بنفسه سلسلتين ، « في بحوثه التجريبية » للتفريغات الكهربائية في الفراغ (1838) . ورصد مظاهرها المتنوعة مثل اللمعة السلبية ، ومثل الفضاء المظلم لفراداي ، ومثل العامود الايجابي . ولم يمكنه الفراغ العادي الذي اوصلته إليه ماصاته من الذهاب بعيداً ولكنه استشعر ان « النتائج المتعلقة بمختلف شروط التفريغ الايجابي والسلبي سوف يكون لها على فلسفة العلم الكهربائي تأثير اكبر مما نتصوره في وقتنا الحاضر » .

وفي سنة 1858 اكتشف ج. بلوكر J.Plücker دفي بون « الضوء الأخضر الجميل الغامض »

المحدث بفعل التفريغات ضمن فراغ قوي نوعاً ما : وهذا ما توجبت تسميته فيها بعد « الأشعة الكاتودية» . وشاهد هذه اللمعة تنتقل تحت تأثير المغناطيس . وفي سنة 1869 عاد تلميذه هيتورف Hittorf ـ الذي درس مدة عشر سنوات ، من قَبْلُ ، هجرة الايونات في السوائل ـ إلى هذه التجارب واكملها :

ضمن شروط مناسبة حصل على « ضمة من الأشعة البادية التوازي . . . احدثت في كل مكان تلتقي فيه الزجاج ضوءاً أخضر متأججاً . . . » . وقذفت الحواجز الموضوعة في طريق هذه الضمة ظلالاً واضحة . إن كل شعاع « يسلك (ضمن حقل مغناطيسي) سلوك تيار خطي متناهي الدقة مستقيم ، بدون وزن ، مرتبط في طرفه المجاور بالكاتود » .

وبعد ذلك بعدة سنوات أي في سنة 1876 بين اوجين غولدستين Eugen Goldstein بأن صدور هذه الأشعة عن الكاتود لا يتم بشكل انتشاري ـ مثل انتشار الضوء ـ بل في الاتجاه العادي فقط تقريباً . ونضيف أنه اكتشف في سنة 1886 بعد استعمال كاتود مثقب ، الأشعة الايجابية التي ظلت لمدة طويلة تسمى « الأشعة القنوات » أو اشعة غولدستين . وظلت هذه الأشعة تدرس بذات الأهمية ، منذ السنوات الأولى في قرننا إلى أن تم صنع سبكتروغرافات الكتل .

وبعد 1871 بين ك . فارلي Varley بأن كل خصائص الأشعة الكاتودية تبدو غير مفهومة إذا افترضنا أنها حبيبات مادية تحمل شحنات سلبية مقذوفة بخط مستقيم من قبل الحقل الكهربائي الذي يسود قرب الكاتود .

واجريت تجارب واضحة تماماً وبارعة في سنة 1879 . من قبل وليم كروكس Crookes الذي اعطى لأنابيب الفراغ التي ما تزال تحمل اسمه شكلاً دام لها مدة طويلة . وطور كروكس افكار فارلي Varley واثبت أن الأشعة الكاتودية هي « مادة مشعة » في حالة رابعة فوق الغازية . ولكنه لم يفكرّ إلا بذرات عادية مشحونة سلباً .

وأوضح أ . ريكي E.Riecke هذه النظرية . فحَسَبَ المسارات ضمن حقل مغناطيسي لحبيبة تحمل شحنة كهربائية وكتلةً معينتين وبيّن أن هاتين يجب أن تكونا دوائر أو حلزونات محورها موازٍ للحقل (1881) . وفي نفس السنة قام ج . ج . طومسون بدراسات مشابهة سوف نعود إليها .

ورغم ذلك فمسألة طبيعة الأشعة الكاتودية كانت بعيدة عن الحل . فالفيزيائيون من المدرسة الألمانية لم يقبلوا عموماً بالنظرية الجسيمية . وفي سنة 1883 قام هرتز ، من اجل حسم المسألة بسلسلة مهمة من التجارب (فرسوش اوبر دي غليمنتلادن Versuche Über die Glimmentladung) واستعمل بطارية فيها ألف حاشدة من الرصاص ـ صنعها بنفسه « كما يصنع العامل في الفبركة ، مكرراً كل حركة الف مرة » ـ وبين في البداية أن التفريغ في الفراغ هو عملية مستمرة ، واعتقد أنه يقرر « أن الأشعة الكاتودية ليست إلا ظاهرة ترافق التفريغ » ، وأخيراً سعى إلى رؤية ان هذه الأشعة لها خصائص كهربائية ستاتية وتلقاها في البداية ضمن اسطوانةفرادايخارجاً عن انبوب التفريغات ، دون أن يجمع فيها أية شحنة قابلة للقياس ، ثم حاول عبثاً أن يحرفها عن مسارها بفعل حقل كهربائي داخلي .

وفي القريب العاجل سوف يشرح جان برين Jean Perrin وج.ج. تومسون اسباب هذا الفشل المزدوج ومنها الشحنات التعويضية المتراكمة على حواجز الزجاج ، ثم الفراغ غير الكافي وتأيين الغاز بين الالكترودات الداخلية المولدة للحقل . ولكن هذه التجارب قادت هرتز إلى الاستنتاج « بأن هذه الأشعة الكاتودية تختلف من حيث كهربتها . ومن بين الظاهرات المعروفة يكون الضوء هو الاقرب إليها . وأن الدوران المغناطيسي لسطح تكثيف هذا الضوء هو المثيل لانحراف الأشعة الكاتودية بفعل المغناطيس » .

إن هذه النظرية التي كانت ايضاً نظرية غولدستين ، بدت مثبتة باكتشاف قام به هرتز سنة 1892 : وهو : شفافية الأوراق المعدنية الرقيقة بالنسبة إلى الأشعة الكاتودية . ولم يكن بالامكان في ذلك الوقت ، تصور امكانية اجتياز هذه الجزئيات السريعة نوعاً ما للمادة الصلبة . في سنة 1894 قام ف. لينار Ph.Lenard تلميذ هرتز ، بتمرير الأشعة الكاتودية من الفراغ إلى الهواء عبر شباك من المعدن الرقيق . في هذه الأثناء تراكمت الوقائع . في سنة 1882 قادت التجارب حول توصيلية الغازات المنبثقة عن اللهب ، و. جيز إلى توسيع الكتروليت (تحليل) الغازات لتشمل فرضية التأيين .

وبعد ذلك بقليل ، واثناء البحوث التي جرت في مانشستر بين 1884 و 1890 ، وتناولت الهواء في حالة الضغط الجوي كما تناولت انابيب كروكس اوضح ارثر شوستر Schuster فرضيات فاليري وجيز Giese وكَوَّنَ منها كلًا متماسكاً .

كتب يقول : « اعرف انني حين اتكلم عن الكهرباء الايجابية والسلبية وكأنها مادة لها وجود منفصل ، اكون قد تقدمت ضد ما يسمونه بالآراء الحديثة حول الكهرباء » أي ضد آراء هرتز وتلامذه الذين يميلون إلى اعتبار الشحنات والتيارات الكهربائية وكأنها مفاهيم « ثانوية » .

XIII - بدايات نظرية الالكترونيات

ج.ج. تومسون وبدايات الديناميك الالكتروني : منذ بداية عهده في سنة 1881 تقبل ج.ج. تومسون (1856 - 1940)، بعد أن لفتته تجارب غولدستين وكروكس ، فكرة أن في أنابيب كروكس يوجد « جسيمات من المادة لها شحنة كهربائية ضخمة وتتحرك بسرعات كبيرة جداً وأن هذه الجسيمات تشكل الحدث الأساسي » . وبعد خمس عشرة سنة اجرى حول هذا الموضوع تجارب حاسمة .

واكتفى حينئذٍ بوضع نظرية حول الأثر الكهربائي لهذه الجسيمات ، كما اكتفى بحساب حقولها ، والقوة المغناطيسية التي تتلقاها . . . متخذاً كأساس نظرية مكسويل التي تقول أن التغيرات في التنقل الكهربائي ضمن العازل تحدث مفاعيل تشبه مفاعيل التيارات العادية . وتعلق الأمر اساساً بمسألة « التيار المفتوح » . ربما كان بالامكان حقاً اشمال هذه الحالة بقانون بيوت وسافارت (1) وعكسه (2). وبالفعل نرى بوضوح سنداً لتعريف الزخم (i) في تيار ما، ان شحنة (e) محركة بسرعة v تشكل عنصر تيار حمل حراري (Convection) $i \delta s = e V'$.

إن المعادلة (1) تتخذ عندئذٍ ، بالترميز الاتجاهي، شكل $H = e(v \wedge r)/r^3 = v \wedge D$ (11)

حيث تمثل (D) التنقل الكهربائي المحدث من مسافة (r) ، سنداً لقانون كولومب ، بفعل الشحنة (e) ؛ وتمثل ∧ عملية الجداء التوجيهي. اما المعادلة (2) فتكتب ، إذا راكمنا حقلاً كهربائياً (E) فوق الحقل المغناطيسي (H) ، أو بصورة أولى فوق الحث الموافق (B)، وفقاً للشكل التالي : $(12)\ F = e(E + v \wedge B)$. في الواقع تبدو هاتان الصيغتان صحيحتين ، باستثناء الشق الثاني (الوسيط) من (11) الذي ليس إلا تقريباً ، يصلح فقط عندما تكون (v) صغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء (c) . ولكن قانون بيوت وسافارت وعكسه لم يتضحا إلا بالنسبة لعناصر في تيارات مغلقة . وإذاً فالاستنتاج الذي توصلنا إليه فيه الكثير من المخاطرة ويتوجب العودة إلى المسألة من وجهة نظر مكسويل . وهذا الأمر قام به ج.ج. تومسون في المحاولة الأولى هذه حول ديناميكية الالكترون . واصيب حسابه بخطأ صحح في ذات السنة من قبل ج.ف. فيتز جيرالد Fitzgerald . في سنة 1888 - 1889 ، عاد هيفيسايد Heaviside إلى نفس المسألة بشكل اعم ، ضمن عمل رائع حيث جرب على سرعات قد تصل إلى سرعة الضوء . وفيها بيّن أنه في حالات السرعات الكبرى جداً تبقى خطوط القوة الكهربائية نصف قطرية ولكنها تتجه إلى التجمع ـ مع الخطوط المغناطيسية ـ ضمن السطح الاستوائي العامودي على السرعة .

إن شكل المعادلات (11) و (12) بالذات أوحت به إلى ج.ج. طومسون نظرية كان هدفها تفسير المفاعيل الكهرمغناطيسية « بحركة انابيب القوة » ، وقد وسعها في كتابه . « بحوث حديثة في الكهرباء والمغناطيسية » (1893) .

ونضيف أنه فهم منذ 1881 أن التسارع الايجابي أو السلبي الذي يصيب الأجسام المكهربة يجب أن يغير في كل الفضاء زخمها الموجة وبالتالي يجب أن يولد موجات كهربائية مغناطيسية . وكان يظن ـ خطأً ـ أنه يفسر هكذا التشميع الأخضر في الزجاج المضروب باشعة كاتودية . ولكن الفكرة العامة كانت سليمة ومثمرة .

عمل لورنتز ونظرية الالكترونات : كانت وجهة نظر هندريك انطون لورنتز (1853 - 1928) اعم من وجهة نظر الفيزيائيين من المدرسة البريطانية . وقد ناقش في عمله الأول ، وهي اطروحته للدكتوراه حول « انعكاس الضوء وانحرافه » (1875) مختلف النظريات حول البصريات : « تقودنا دراسة الانعكاس والانحراف إلى الاستنتاج العام بأن نظرية مكسويل يجب تفضيلها على نظرية التأرجح القديمة » .

ولكنه تثبت من المصاعب القائمة ووضع للمستقبل برنامج بحوث حقيقي : « فلنفكر بظاهرة التشتت اللوني ، وبدوران سطح التكثيف ، وبعلاقة هذه المفاعيل بالبنية الجزيئية. وفيما بعد لنفكر بالقوى الميكانيكية التي ربما تلعب دوراً في الظاهرات الضوئية . . . ولنفكر أيضاً بالتأثيرات على الضوء التي تحدثها القوى الخارجية وحركة المكان . ثم نفكر اخيراً بظاهرات البث والامتصاص ثم بالحرارة المشعة . . . إذا كان صحيحاً أن الضوء والحرارة المشعة هي ذبذبات كهربائية ، فمن الطبيعي الافتراض بان جزيئات الأجسام التي تولد مثل هذه الذبذبات في الوسط المجاور هي أيضاً مركز تأرجحات كهربائية . . . إن هذا التصور الذي لم يكن جديداً والذي استعار من نظرية الكهرمغناطيسية درجة

عالية من الاحتمال ، يبدو لي مثمراً . . . ونظرية مكسويل التي لم تصل بعد إلى شكلها النهائي تتطلب توضيح العديد من النقاط الغامضة التي لا يمكن اليوم تقديم تفسير لها إلا بصورة ناقصة ». وتضمنت مذكرة في سنة 1878 عنوانها : (Ueber die Beziehung Zwischen . . .) العلاقة الشهيرة المسماة علاقة لورنتز ـ لورنز Lorentz - Lorenz والتي تعرف « الثابت الانحرافي » بصورة مستقلة عن الثقل النوعي وعن الحالة الفيزيائية في الجسم المدروس . وطور لورنتز ، بهذا الشأن ، ولأول مرة ، النظرية الكهرمغناطيسية حول التشتت .

ونَصِلُ إليها إنْ اعتمدنا الفرضية القائلة بأنه ـ ضمن الجزيء ، وحالما يحصل عزم كهربائي محفوز ، تتحرك كتلة بذات الوقت ، أي أن الشحنات الكهربائية مرتبطة بجسيمات ذات حجم معين : وفي هذا نواة لنظرية الالكترونات ، التي اوصل إليها بالضرورة ، « الترجمة ـ باللغة الكهرمغناطيسية ـ للتفسير الذي اقترحه سلميير Sellmeier ، وبوسينسك Boussinesq وهلمولتز Helmholtz » .

وفي سنة 1887 خصص لورنتز دراسة خاصة للزيغان في الضوء ، وناقش نظرية فرنل Fresnel حول الأثير الجامد جزئياً في عمله المسمى « تأثير حركة الأرض على الظاهرات الضوئية» (افترض فرنل أنه ـ ضمن المادة ـ يكون لجزءٍ من الأثير نفس الثقل النوعي الذي يكون له في الفراغ ويبقى جامداً . أما فائض الأثير ـ وهو الزائد بالنسبة إلى الفراغ ـ فمرتبط بالجزيئات ،وتجره الأجسام المتحركة . وإن هذه الفرضية « تلتصق » بوقائع قبلها فرنل . وهي تتوافق بصورة شبه كاملة تقريباً ـ وبشكل ميكانيكي قابل للنقاش ـ مع النظرية الكهرمغناطيسية الأكثر منها عقلانية والتي وضعها لورنتز فيما بعد) .

واتخذت نظرية لورنتز شكلها النهائي في مذكرتين اساسيتين : « نظرية مكسويل وتطبيقها على الأجسام المتحركة » (1892) ثم (Versuch einer Theorie der elektrischen) (1895). وهي « ترتكز على فكرة المادة القابلة للوزن ، المنفتحة تماماً على الأثير والتي يمكنها التنقل دون أن تعطي هذا الأثير أية حركة . . . أما الجسيمات المشحونة فتعتبر كمادة قابلة للوزن يمكن أن تطبق عليها قوى » .

وبقول آخر افترض لورنتز فرضيتين أساسيتين :

1 - إن الأثير هو دائماً غير متحرك وفي كل مكان . إلا أنه ليس مائعاً ـ أو جامداً مزوداً بالصفات المادية مثل الثقل النوعي والمطاطية . إنه الفضاء الفراغ الذي وصفت خصائصه الكهرمغناطيسية الخالصة في معادلات مكسويل المعتبرة كمسلمات .

2 - إن الكهرباء تتكون من جزئيات مادية تحمل شحنة كهربائية ولها كتلة محددة أي الالكترونات (أو الايونات) . إن التيارات الكهربائية الحاثة ـ والتي لم يكن لها عند هرتز إلا معنى شبه مجرد ـ هي دائماً تيارات موجهة . إنما تجب الاشارة بأنه لا الشحنة ، ولا الكتلة في الالكترونات قد حددتا في مذكرتي لورنتز الأوليين . الأهمية كانت فقط للبنية الذرية ، وللحقيقة المادية في الكهرباء .

بعد قبول هذه الفرضيات ، طور لورنتز منطقياً نتائجها . وفي عمله لسنة 1892 ، ولكي يقلل

من عدد المسلمات المستقلة ، ادخل ـ كما فعل مكسويل ـ مبادىء الميكانيك (مبدأ دالمبير) . وفي عمله سنة 1895 ، اعتمد الطريقة المسلماتية الخالصة التي اعتمدها هرتز ، فاضاف إلى المعادلات الأساسية التي قال بها هذا الأخير ، المعادلة (12) التي تعطي قيمة ما نسميه اليوم « **قوة لورنتز** » .

نجاح نظرية لورنتز وحدود صلاحيتها : إن نظرية الالكترونات المقررة على هذا الشكل ، توضح تقريباً كل الظاهرات الكهربائية والمغناطيسية والبصرية التي كانت معروفة في ذلك الوقت . وطورت هذه النظرية بكل تفصيلاتها في السنوات التي عقبت (1895 - 1905) (توصيلية المعادن ، والمغناطيسية) . وبقيت بناءً كلاسيكياً ، اساساً لكل نظرياتنا الحديثة مثل النسبية والكانتا ، التي اكملتها اكثر مما صححتها . واقتضت هذه النظرية بالطبع نظرية حول التشتت التلويني للضوء والتي كانت في اساس بحوث لورنتز . ولكن الشيء الذي ربما انجح هذه النظرية بشكل باهر ، ربما كان تفسيرها « للانجرار الجزئي لموجات الضوء بفعل المادة » .

إن هذا التفسير يقدم بشكلين : الأول يقوم على تحليل تفصيلي للظاهرات .

ويمكن ايجازه باختصار كلي بما يلي : بالنسبة إلى هـ. آ. لورنتز تعتبر تيارات التنقل في العازلات ـ وهي اجسام شفافة ـ مجموع تيارين جزئيين : تيار التوجيه المرتبط بتغيرات مكان الالكترونات في الجزيئات ذات التكثيف المتغير.ثم من جهة اخرى التيار التنقلي الذاتي الحاصل في الأثير والذي يغشي الجزيئات .إن كثافة العازلات مرتبطة بالمادة وتشارك في حركتها تاركة في مكانه الأثير والحقول التي يتضمنها : أن الجزء من الموجات الضوئية ـ أو الحث الكهربائي ـ المجرور بالأجسام المتحركة ، يتطابق تماماً مع كثافة جزيئاتها .

ويعطي الحساب الدقيق « معامل جر » يساوي :$(1 - 1/\varepsilon)$أو$(1 - 1/n^2)$ سنداً للمعادلة (10) لمكسويل ، أي القيمة التي قبل بها **فرنل** .

وهكذا تفسر تجارب فيزو وأيخنولدوتجارب آراغو الأقدم وغيرها الأكثر دقة والتي جرت سنة 1872 على يد ماسكارت .

أن الطريقة الثانية عند لورنتز وإن كانت أقل زخرفة ، فهي بآن واحد اكثر بساطة وأكثر عمقاً واكثر نتائج . فهي ترتكز على تحويل في الاحداثيات .

ندرس نظامين من المراجع الأول جامد مرتبط بالأثير (هو فضاء وزمن مطلقان) ؛ والآخر مرتبط بالمادة المفترض انها محركة بسرعة اجمالية ومتسقة ، والاحداثيات في الفضاء تستخرج في هذه النظرية من احداثيات النظام الثابت بفضل المعادلات العادية السائدة في الميكانيك الكلاسيكي ، ولكن الزمن المطلق فيها مستبدل بزمن محلي يتعلق باحداثيات الفضاء وبالسرعة ϑ، إن هذا الزمن المحلي هو ببساطة الزمن الذي يحصل عليه الرصاد الجالسون في مختلف النقاط من نظام متحرك من شأنه أن ينظم فيما بينها الرقاصات عن طريق تبادل الاشارات الضوئية ، مع الافتراض بأن هذه الرقاصات في حالة سكون في الفضاء . أما الحقول المغناطيسية والكهربائية المقاسة في نظامي الارتكاز فتختلف تبعاً

للتيارات الكهربائية ولمفاعيل الحث المحدثة بفضل الحركة النسبية . وقرر لورنتز عندئذٍ القاعدة الأساسية التالية : إذا اهملنا مربع النسبة $\frac{v}{c}$ (باعتبار c سرعة الضوء فتكون $\frac{v^2}{c^2}$ من عيار جزء من اصل مئة مليون جزء بالنسبة إلى الأرض فوق مدارها) ، والمعادلات التي تفسر قوانين الكهرمغناطيسية هي ذاتها في نظامي الاستناد . وبقول آخر تكون ـ ضمن هذا الترتيب التقريبي ـ الظاهرات الكهربائية والضوئية المقاسة من قبل الرصاد المتحركين ، عبر تجارب داخلية في نظام الاستناد ، هي ذاتها كما لو كانت في حالة سكون : لا يوجد أي أثر « لريح الأثير » .

من هذه القاعدة العامة حول الثبات(عدم التغير) تستخرج بسهولة حصائل فرنل وفيزو وخلفائهما .إن تغير الاحداثيات في الفضاء وفي الزمن الذي يبدو في هذه القاعدة ، لم يكن حتى ذلك الحين « تحولات لورنتز » بل أول رسمة لها . وهناك نجاح آخر حققته نظرية لورنتز هو تعميم حسابات هرتز وج . ج . طومسون حول اشعاع الالكترونات التي تخضع للتسريع ، وهي حسابات وضحت أيضاً في سنة 1897 من قبل جوزيف لارمور Larmor(1) والتي كانت مؤسسة بصورة رئيسية على استعمال الأزخام المتأخرة التي سبق واستعملها كل من ريمان ولورنتز ثم في سنة 1891 هنري بوانكاريه .

وعندما اكتشف زيمان في سنة 1896 ، الظاهرة التي تحمل اسمه ، العمل ، المبحوث عنه عبثاً من قبل فراداي ، أي عمل الحقل المغناطيسي على تردّد وكثافة الخيوط الطيفية المرسلة من قبل الذرات ، استطاع لورنتز في الحال تقديم تفسير دقيق لهذه الظاهرة ، على الأقل بشكلها الأبسط (الأثر الطبيعي) ، واستخلاص ما يلي : أن كتلة الألكترونات الضوئية في الذرات يجب أن تكون اقل بمعدل $\frac{1}{1000}$ من كتلة ذرة الهيدروجين .

ولكننا نصل هنا إلى حدي صلاحية نظرية لورنتز كما كانت مصاغة في نهاية القرن التاسع عشر :

1 ـ إن المعادلات في الكهرمغناطيسية ليست ثابتة بالنسبة إلى التحول المقرر في سنة 1895 من قبل لورنتز إلّا إذا اهملنا الآثار من الدرجة الثانية ($\frac{v^2}{c^2}$) ولكن في تلك الحقبة السابقة كان من المعروف ان الثبوت يجب أن يكون اكثر دقة ، لأن هذه الآثار من الدرجة الثانية كان يمكن أن تتأكد بفضل تجربة ميكلسون Michelson ومورلي Morley الشهيرة سنة 1887 ، ولكنها أي المفاعيل لم تلحظ يومئذٍ .

وفتحت السبيل نحو معادلات التحول المرضية لثبوت دقيق ـ أي نحو مبدأ « النسبية » ـ في سنة 1892 : حين اقترح فيتزجيرالد ، وبعده بعدة اشهر ، لورنتز ، الفرضية القائلة بأن كل الأجسام المتحركة تتقلص تقلصاً بسيطاً « تقلص لورنتز » ، باتجاه يوازي سرعتها في الأثير ، دون ان تتغير ابعادها الأخرى . وهكذا تم التوصل إلى تفسير النتيجة السلبية الحاصلة من تجربة ميكلسون ومورلي . ولكن هذه الفرضية المنفردة ، وهذا التحرّف في الفضاء بفعل الحركة ، غير المتبوع بتحرّف موازٍ في الزمن بدا يومئذٍ وكأنه انجاز عشوائي .

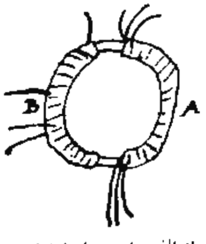
---

(1) إن مساهمة لارمور في نظرية الالكترونات لا تُهمل . ففي الحقبة التي كان فيها لارمور يجتهد من اجل الوصول إلى نماذج ميكانيكية للأثير وللاثار الكهرمغناطيسية في سنة 1894 ، ادخل في نظرياته فرضية البنية الذرية في الشحنات . وكتابه «الأثير والمادة » الذي نشر سنة 1900 فيه الكثير من الشروحات المفيدة ، وخاصة قاعدته حول « تعادلية لامور Précession » ، أي حول التعادل ، بالنسبة إلى حركة الالكترونات ، بين الحقل المغناطيسي ودوران مجمل النظام مع سرعة زاوية محددة .

2 - إن نظرية لورنتز ، رغم جهود واضعها لم تستطع أن تعطي أي تفسير مقبول لما يسمى « مفعول زيمان الاستثنائي » والكثير الحدوث . وكذلك كان يمكن التكهّن بعجزها عن تفسير قواعد الاشعاع العامة ، منذ ذلك الحين . وهي قواعد الأطياف الضوئية للذرات ، وقواعد اشعاع الجسم الأسود . ولكن هذا الفشل قد تسبب بولادة نظرية الكنتا التي تنتمي إلى القرن العشرين .

* * *

ها نحن قد وصلنا إلى نهاية هذه الدراسة ، في حدود سنة 1895 ، حيث امكن اعتبار اكتشاف الأشعة السينية (X) من قبل رونتجن Röntgen وكأنه شق في تاريخ الفيزياء . إنّ الحقبة الجديدة ، وهي حقبة بداية القرن العشرين تبدأ في أواخر سنوات القرن التاسع عشر . وفي السنوات العشر التي تلت تجارب رونتجن امكن اكتشاف اشياء كثيرة من بينها خصائص الألكترون الدقيقة ، وخصائص الايونات الغازية ، ثم النشاط الاشعاعي (Radioactivité) واشعاعاته ، وكمية العمل أو الفعل ثم النسبية الضيقة .



صورة 7 ـ رسمة الجهاز الذي استعمله فراداي عند اكتشافه للحثّ
(رسم مأخوذ من مذكّرته ، 29 آب 1831) .

الفصل الخامس

الدراسة التجريبية للظاهرات الحرارية

وكما هو الحال في قطاعات الفيزياء الأخرى تبدو دراسة الظاهرات الحرارية ذات وجهين ، وجه نظري ووجه تجريبي . ورغم ترابط الوجهين نظراً لانطباقهما على واقع واحد ، اعتقدنا أنه من الممكن بل من المرغوب فيه عرض هاتين النقطتين المتوازيتين ، والمتكاملتين في اغلب الأحيان في فصلين متتاليين .

لا شك أن نقاط الاتصال الكثيرة والتي ظهرت بخلال القـ ـ التاسع عشر ، في هذا المجال حول الحرارة وحول الترموديناميك ، بين عمل المجربين الدقيق وبين جهود المنظرين ، ادخلت العديد من الاتصالات والروابط بين هذين الفصلين . وبالمقابل إن الأعمال المهمة التجريبية ذات التطبيقات العملية الضخمة لن يكون لها إلاّ انعكاسات نظرية ضعيفة نسبياً في حين ان بعض البحوث النظرية من الدرجة الأولى لم يكن لها إلاّ القليل من الانعكاسات التجريبية المباشرة .

فضلاً عن ذلك ، إذا كان القليل من الفيزيائيين يعملون بآنٍ واحدٍ في الحقلين التجريبي والنظري ، فإن آخرين يقصرون جهودهم إما على وضع نظريات جديدة في الفيزياء الرياضية وإما على وضع قوانين تجريبية خالصة ، ويجب أن نتذكر أن الإزدهار العظيم في الآلات الحرارية كان في اساس الأعمال العديدة والاختراعات الكثيرة التي كان لبعضها انعكاسات عميقة في مجال تقدم التجارب . إن دراسة الظاهرات الحرارية في مجملها كان إلى حدٍ بعيد بفضل كون الأوساط الصناعية في بعض البلدان من أكثر الأوساط تنوراً ، التي اهتمت كثيراً بتطور تقنية الموتورات الحرارية . وكانت ردة فعل الحكومات اكثر بطئاً بوجه عام ، وقلما قامت بعض المختبرات الرسمية قبيل النصف الثاني من القرن بتخصيص اعتمادات ضرورية لبناء اجهزة مكلفة لتحقيق سلاسل طويلة من التجارب .

ودون امكانية الكلام ، حقاً ، عن مدارس، فإنّ العديد من البلدان قد حافظ على نشاط تجريبي كبير في هذا المجال طيلة القرن . في فرنسا كان غاي لوساك ، وآراغو ، ودولون وبيتي وكلابيرون وكانيار

دي لاتـور ، وبوييه Pouillet، وديبـرتز ، ولـوشاتيـلي ، وكايتيه Cailletet، وسـانت كلير دوفيل ، وآماغات وبرتيلو ، كل هؤلاء يستحقون الذكر ، ولكن العمل الأكثر غنى والأكثر كمـالاً هو العمـل الذي قام به هـ . فكتور رينيو (1810 - 1878) عبر حياة خصبة مخصصة بصورة اساسية لسلسلة طويلة من التدابير المتخذة بصبر وبدقة مثاليين .

وفي بريطانيا كان المجربون الأكثر بروزاً فاراداي، وجول ، وج. ثم و. تومسون ، ورانكين ، واندروز ، وديوار . وفي المانيا كان ماغنوس واوغوست ، وكلوزيـوس ، وبونسن ، وويدمـن وفرانـز وهلمولتـز ، ونرنسـت Nernst ووين ، فحققوا انجازات مهمة تجريبية استكملت غالباً ببحوث نظرية غنيـة . ويتوجب علينـا أن نشير أيضـاً إلى اسماء كـولادون ور. بيكتت في سـويسـرا ، واولـز وسكي وروبلوسكي في بولونيـا وناتيـرر في النمـسا ، وفـاندر والـس وفـانت هوف وكـامرلن اونس في البلدان المنخفضة ، مع التشديد بشكل خاص عـلى هذا الأخير الذي أوجـد في ليد مختبـراً تصريـدياً حسن التجهيز وفيه تحققت اكثر الانجازات بروزاً في مجال الفيزياء ذات الحرارة المنخفضة جداً .

I - الترومتريا (قياس الحرارة)

الترمومتر السـائلي : في بداية القرن التاسع عشر كـان اسلوب استعمال الترمومـتر السـائـلي قد استقـر ، بشـكـل خـاص بفضـل الأعمـال العـظيمـة التي قـام بهـا ريـومـيـر Réaumur وفهـرنهايت Fahrenheit . وبقيت على كل حال مسألة مهمة هي مسألة تعيير دقيق لعامود الماء ، وهي مسألة شعر بها ريومير ولانبرت Lambert .وحقق غاي ـ لوساك Gay - Lussac هذه العملية عندما أشار إلى التموضع المتتالي الذي احتله عامود من الزئبق طوله عدة سنتمترات جرى نقله على طول قناة . وجرت اساليب مشابهة أو طرحت من قبل رودبرغ Rudberg وهالستروم Hallstrom ، وبيسل Bessel .

ومن اجل زيادة الدقة في القياسات صنع ولفردين Walferdin في سنة 1840 ترمومتراً لقب « فوق الثابت » ولم يتضمن سلمه إلا ثلاث درجات أو اربع درجات يتوافق كل منها مع طـول عشر سنتم تقريباً . أما مسافة القراءة فيمكن ان تتغير بتمرير جزء من الزئبق إلى خزان اضـافي . ولكن صعوبـة استعمال هذه الآلة اخرت انتشارها إلى أن وضع شيرر ـ كستنر Scheurer - Kestner منهجاً تصحيحياً سهلاً نسبياً .

إن الترمومتر الوزني ، الذي تصوره دولون Dulong وبيتي Petit يتألف من خـزان من الزجـاج ينتهي بانبوب خيطي رفيع ومنحنٍ . فإذا ملىء بالزئبق عند الدرجة صفر ثم عنـد الدرجـة (T°) فانـه يسرب كمية من السـائل يختلف وزنها بحسب الحرارة الحاصلة .

ونذكر أيضاً وضع ترمومترات ذات حد ادنى وحد اقصى من قبل رودر فورد سنة 1794 ، ونذكر أيضاً انجاز ترمومترات طبـية الخ .

الترمومترات الغازية : إن ابسط هذه الأجهزة تتألف من خزان مملوء بالغاز ، وممدود إما بواسطة جهاز مانومتري أو بواسطة انبوب افقي يحتوي على مؤشر يتنقل بحسب تغيرات حجم الغاز الداخلي . وقد استعملت انماط كثيرة من الترمومترات الهوائية التي استخدمت في القرن السابع عشر من قبل فان

هلمونت ومن قبل ج.ك. ستورم J.C.Sturm ، وفي القرن الثامن عشر من قبل آمونتون Amontons وهرمان Hermann . وادخلت تحسينات مهمة ، مرتبطة بالبحوث حول تمدد الغازات في القرن التاسع عشر وخاصة من قبل غاي ـ لوساك ، ورينيو، ومندليف Mendéléev . وتم تكريس الترمومترات الغازية المسماة عادية ، والتي تعمل بفعل تغير الضغط في حالات الحجم الثابت ، عندما قام المكتب الدولي للأوزان والمكاييل باستعمال مثل هذا الجهاز لوضع سلم نموذجي لدرجات الحرارة (1887) .

البيرومتر Pyromètre : من اجل تحديد درجات الحرارة المرتفعة جداً استخدم بوييه Pouillet في سنة 1836 ترمومتراً غازياً ذا خزان من البلاتين. ولاحظ سانت كليرـدوفيل ، وتروست Troost (1857 - 1859) أن البلاتين يصبح قابلاً للانخراق امام الغازات في الدرجات العالية من الحرارة، مجهزاً بيرومتر الغاز بخزان من البورسلين الصلب .

وهناك طرق اخرى طبقت من اجل تحديد درجات الحرارة المرتفعة : الطريقة الكالوريمترية (بوييه) ، وطريقة تغيير الحجم (بيرومتر ود وود Wedgwood المؤلف من اسطوانات من الفخار الناشف ، 1782) ثم الأسلوب المؤسس على ذوبان وغليان بعض الأجسام (برنسيب Prinsep 1828 ؛ ابولد Appold ، 1855) ، ثم البيرومتر ذو المقاومة الكهربائية (سيمانس Siemens ، كالاندر Callendar 1886 - 1891) .

وتم بنجاح أيضاً تحديد حرارة الأجسام الملتهبة بمراقبة خصائص الضوء الصادر عنها . وهكذا عيَّر (بوييه) Pouillet التلوينات المختلفة التي اتخذها البلاتين عندما وضع في حالة التأجيج . وبعد قياس زخم الضوء الصادر عن جسم مسخن ومنقول عبر زجاج ملون بيَّن أ. بيكريل في سنة 1863 ، أنه ، في نفس درجات الحرارة ، تصدر الأجسام الكثيفة كلها نفس الضوء . واكتشاف قوانين الاشعاع في اواخر القرن التاسع عشر أتاح صنع بيرومترات بصرية اكثر دقة .

المزدوج الحراري ـ الكهربائي: بعد اكتشاف المفعول الحراري الكهربائي من قبل سيبك 1821 طبقت هذه الظاهرة على تحديد درجات الحرارة. وساهم ارستيد وبوييه و. ف. تومسون وبيكريل وبوجندورف الخ . في صنع ترمومترات حرارية كهربائية من أجل الدراسة النظرية ومن أجل توسيع تطبيقاتها. وقد استطاع هولبورن ووين (1896) تبيين مكاسب البلاتين ـ البلاتين الممزوج بالروديوم (وهو جسم فلزي أبيض)، خاصة من أجل قياس درجات الحرارة العليا.

II - دراسة التمدد

تمدد الجوامد : في القرن الثامن عشر ، جرت قياسات دقيقة نوعاً ما حول تمدد الجوامد من قبل ديلوك Deluc (1772) ومن قبل لافوازيه ولابلاس . واستعمل هذان الأخيران جذعاً معدنياً كان إذا تمدد يضغط على انحناء منظار متحرك حول محور .

في سنة 1818 حدد دولون وبيتي معدلات التمدد التكعيبي لمختلف المعادن بواسطة ترمومتر الوزن واثبتا أن هذه الكميات تتغيّر بنسبة خطية مع الحرارة . وقد استعمل ماتيسن Mathiesen (1866) مقاييس اكثر دقة ووضع هذه المعدلات بشكل وظائف من الدرجة الثانية فيما خص درجات الحرارة .

أما الطريقة التداخلية التي اتبعها فيزو Fizeau في سنة 1864 وحسنها آبي Abbe في سنة 1884 فقد ادخلت تنقل الهدب التي تتشكل ضوءاً وحيد اللون (مونوكروماتيا) ضمن رقاقة من الهواء الرقيقة جداً المحدودة بكتلة من الزجاج وبسطح الجسم المدروس .

وبين ميتشرليك (Mitscherlich) في سنة 1827 بأن البلورات المتباينة الخواص تتمدد بصورة غير منتظمة في مختلف الاتجاهات . إن دراسة تمدد المواد البلورية قد درست فيها بعد من قبل فيزو .

تمدد السوائل : كان تمدد الزئبق موضوع قياسات من قبل دولون وبيتي اللذين استعملا الأنابيب المتصلة التي كانت فروعها في درجات من الحرارة متنوعة . واستطاع فيزيائيون آخرون ومنهم رينيو ، بطرق متنوعة ، الحصول على نتائج اكثر دقة .

إن دراسة تغير الثقل النوعي للماء تبعاً لدرجة الحرارة ذات اهمية خاصة جداً ، سواء بسبب الدور الضخم الذي يلعبه الماء في الطبيعة أم لوجود حالة عليا من الثقل النوعي في الماء عند درجة الحرارة المئوية اربعة . وعالج هالستروم Hällström ، ودبرتز Despretz وشيل Scheel على التوالي ، تحديد درجة الحالة القصوى من الثقل النوعي ، كما أوضحوا النتائج التي حصل عليها في السابق هوب Hope ورومفورد Rumford(راجع مجلد 2القسم 3، الكتاب1، الفصل3) .ودرس العديد من المجربين تأثير المواد المذابة في الماء على درجة حرارته عندما يكون ثقله النوعي في اعلى درجاته ، مكتشفين بشكل خاص انخفاض هذه الحرارة انخفاضاً يتناسب تقريباً مع كمية المادة المذابة .

تمدد الغازات ،قانون غاي ـ لوساك : حملت ولادة الكيمياء الفرضية وتقدمها السريع بخلال النصف الثاني من القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2، القسم 3، الكتاب 2، الفصل 3 و 4) العديد من الفيزيائيين على الاهتمام بالخصائص الفيزيائية للغازات، وبصورة خاصة على الاهتمام بدراسة تغير الحجم، في حالة الضغط الثابت تبعاً لدرجة الحرارة. وبناء عليه قام لامبير، وبرستلي وفولتا، ومونج وبرتوليت Berthollet وفندرموند Vandermonde بدراسة كمية تمدد الهواء ومختلف الغازات. ولكن معظم قياساتهم كانت مشوبة بأخطاء خطيرة سببها التخلف والنقص في تقنيتهم الأدواتية، وفي الدرجة الأولى من جراء التقنية غير الكافية للغازات المدروسة. واستعمل لويس جوزيف غاي ـ لوساك (1778 - 1850) . جهازاً تجريبياً اكثر دقة ، وكان يومئذٍ معداً في المدرسة بوليتكنيك ، فوضع في سنة 1802 أن الغازات المتنوعة التي درسها (الهواء الفضائي ، الهيدروجين ،الأوكسجين، والآزوت الخ) « تتمدد ايضاً بنفس درجات الحرارة » . وكان يعمل بين صفر سنتغراد ومئة سنتغراد ، فتوصل بالتالي إلى التأكد من ان كل الغازات تمتلك نفس معامل التمدد ، وهو معامل موحد مستقل عن طبيعة هذه الغازات ، وعن درجة حرارتها وعن الضغط عليها . وحدد هذا المعامل فبلغ 0,00375 (أي ما يعادل تقريباً $\frac{1}{267}$) وهي قيمة جعلت فيها بعد $\frac{1}{273.2}$ تقريباً .

هذا القانون الجديد الذي سمي قانون غاي-لوساك الشهير ، والذي قد استثمره العديد من الفيزيائيين منذ القرن الثامن عشر (أواخره) امثال : لامبير ، وفولتا وشارل ، والذي اكتشف في نفس الحقبة وبشكل مستقل من قبل الانكليزي جون دالتون، استقبل بالرضى الكبير . واتاح جمعه إلى

قانون بويل ماريوت (راجع مجلد 2 ، القسم الثاني ، الكتاب 1 ، الفصل 2) تقنين مجمل الخصائص التمددية لكل الغازات بشكل بسيط ومنسجم .

ولكن الحقيقة أخذت تتكشف بشكل فريد واكثر تعقيداً ، فالتقدم في طرق القياس اظهر سريعاً التفاوت الواضح بين هذه القوانين النظرية ، والسلوك الفعلي للغازات الحقيقية . وهكذا بدت قوانين « بويل ـ ماريوت »وغاي ـ لوساك كقوانين حدودية تبيح تحديد حالة غازية مثالية هي حالة الكمال ، وهي حالة تبتعد عنها الغازات الفعلية ابتعاداً يقل كلما ارتفعت درجة حرارتها وضعف الضغط عليها .

وفي النصف الأول من القرن التاسع عشر استعيدت الدراسة التجريبية لتمدّد الغازات في حالة الضغط الثابت ، وعلى التوالي ، من قبل رودبرغ ، وماغنوس وربنيو الذين استطاعوا ، بفضل جهاز اكثر دقة وبفضل تقنية عملياتية اكثر منهجية ودقة ، أن يحسّنوا النتائج التي وصل إليها غاي ـ لوساك ، فاصلحوا، بصورة خاصة بعض الأخطاء التي تعزى إلى عدم ضبط الأجهزة من حيث تسكيرها . وبيّنوا ان الهواء والغاز كربونيك ، تحت ضغوطات خفيفة ، يتميزان بمعامل تمدد يزداد مع الضغط . وتم تحسين هذه النتائج المتنوعة ، ونشرها في النصف الثاني من القرن بفضل جهود كايتيه Cailletet ، واندروز Andrews ، وآماغات Amagat الخ (راجع حول هذا الموضوع دراسة ج. آلار الفقرة4 ، الفصل اللاحق).

III - الكالوريمتريا

لقد صيغت مبادىء قياس كميات الحرارة من قبل ولكي Wilcke وبلاك Black في النصف الثاني من القرن الثامن عشر ، ووضع أول كالوريمتر عملي فعلاً ، واستخدم من قبل لافوازيه ولابلاس في سنة 1783 . وقد تمت العودة إلى طريقة ذوبان الثلج التي استعملاها، بواسطة اجهزة اكثر دقة ، تخفف من تبدد الحرارة وتحسن من قياس درجة الحرارة ، وذلك من قبل هرمان (1834) ومن قبل ج. هرشل (1847) ، ومن قبل بونسن 1870 ، الخ .

واستطاع فافر وسيلبرمان صنع كالوريمتر تمددي زئبقي (1850) ، في حين استعمل مجربون عديدون الطريقة المسماة طريقة المزج ، والتي استعملت بعد 1750 من قبل الفيزيائي الروسي ريخمان . وتم التوصل إلى تحسينات مهمة في العزل الحراري وفي تقنية القياسات ، وادخالها على هذا النمط من الأجهزة ، خاصة من قبل رومفورد وبيتي ودولون وربنيو وبرتيلوت (1865) ولوغينين Louguinine (1896) . إن نموذج هذا الأخير يتلاءم بشكل خاص مع قياس الكفاءة أو السعة الكالوريفية في السوائل بين درجة الحرارة العادية ونقطة غليانها .

طريقة التبريد : إن هذه الطريقة استشعرها نيوتن واقترحها في سنة 1796 ت. ماير . وقد استخدمت هذه الطريقة لقياس الكفاءات الحرارية على التوالي من قبل دولون وبيتي ومن قبل دبرتز Despretz . وهي تقوم على مقارنة الأزمنة اللازمة لمختلف الأجسام كي تخسر عن طريق التبريد في الفراغ ، نفس عدد الدرجات ـ على أن يبقى حجمها ودرجة حرارتها الأساسية ودرجة حرارة المحيط المجاور ، واحدة .

إن الحدث ، في حالة الجوامد ، القاضي بأن تكون الأجسام المدروسة في حالة المسحوق أو الغبار التي تجعل اتساق وكثافة هذه الأجسام صعبة المقارنة ، يجعل هذه الطريقة قليلة الدقة . وبالمقابل ، وكما بين ذلك رينيو ، قد تعطي هذه الطريقة نتائج جيدة في تحديد الحرارات الخاصة للسوائل .

الحرارة الخاصة في الغازات ذات الضغط الثابت C_p : إن القياسات الأولى للحرارة الخاصة Cp التي جرت في أواخر القرن الثامن عشر كانت تنقصها الدقة . فقد حصل دي لاروش وبيرار ، في سنة 1813 ، على نتائج افضل باستعمال طريقة المزائج ، بوضع حجم معين من الغاز ينقل إلى كالوريمتر ، الحرارة الضائعة عند مروره من درجة حرارة (t) إلى درجة حرارة اكثر انخفاضاً (t') . وقد توصل هذان العالمان إلى النتيجة المتوسطة $Cp = 0,2669$.

وعاد رينيو سنة 1852 إلى هذه الطريقة مستبعداً الأسباب الرئيسية للخطأ والتي كانت تعيب نتائج سابقيه . وبيّن أنه بالنسبة إلى الغازات المستجمعة شروط قانون بويل ماريوت ، فإن Cp مستقلة عن درجة الحرارة وعن الضغط (بالنسبة إلى الهواء بين 0°C و 200°C ، تكون $Cp = 0,2386$). وبالمقابل وبالنسبة إلى الغازات التي تنحرف مثل الغاز كاربونيك بشكل ظاهر عن هذا القانون ، فإن Cp تكبر مع درجة الحرارة . وعاد ويدمان إلى هذه القياسات في سنة 1876 وحصل على القيمة 0,2391 .

الحرارة النوعية ذات الحجم الثابت : Cv : إن الكمية Cv التي ثبتت اهميتها النظرية منذ 1850 من قبل كلوزيوس ، لا يبدو أنها كانت موضوع دراسة قياسية مباشرة قبل سنة 1886 ، وهو تاريخ استعمل فيه جولي ولهذا الغرض كالوريمتراً تفاضلياً بالتبخير المصمم خصيصاً .

تحديد $\Upsilon = C_p/C_v$: كما سنرى في الفصل المقبل أن معرفة هذا الحاصل مرتبطة مباشرة بتحديد المعادل الميكانيكي لوحدة الحرارة . ولهذا فقد كان موضوع دراسات عديدة . وكانت الطريقة الأولى المستعملة هي طريقة سرعة الصوت ، التي عرضها لابلاس سنة 1816 والتي اتاحت إلى غاي ـ لوساك (1822) وأمام دولون (1829) ، الحصول على نتائج مهمة اولية . إن تطور علم الترموديناميك حمل كلوزيوس ورانكين Rankine وهيرن Hirn ، إلى آخره ، على العودة مجدداً من اجل تحديد هذه الكمية التي ازدادت اهميتها التجريبية من جراء صعوبة القياسات المباشرة لـ Cv . نشير أيضاً إلى طريقة كليمنت وديزورم Desormes اللذين ادخلا في الانطلاق ضغطاً سريعاً للغاز المحتوي ضمن بالون ، الأمر الذي ساعد في سنة 1819 على الحصول على قيمة دقيقة نوعاً ما هي ($\Upsilon = 1,356$) .

IV - القابلية للتوصيل الحراري

قابلية الجوامد : دُرِسَ انتشار الحرارة تحليلياً من قبل فوريه ، وذلك في قضبان المعادن وقام بقياس الدرجات بيوت في سنة 1819 ودبرتنز اللذان استخدما ترمومترات موضوعة ضمن تجاويف موزعة بشكل منتظم في قضيب محمى في احد اطرافه . وادخل لانغبرغ ثم ويدمان ثم فرانز (1853) تحسينات على تقنية التنفيذ وذلك باستبدال القضيب المعدني بخيوط موصلة ثم الاستعاضة عن الترمومترات بمجموعات ترمو ـ كهربائية . واستطاع ويدمان أن يصنف هكذا اثني عشرة معدناً ترتيباً مع درجة التوصيل المتنازل (من الفضة الى البزموث) ثم التثبت من نسبية التوصيليات الحرارية

والكهربائية وهي نسبة استشعر بها في القرن الثامن عشر فرانكلين وآشارد . وتم الحصول على نتائج ادق على يد انغستروم سنة 1861 ، وف. نيومان 1862 ، وكيرشهوف سنة 1880 وكوهلروش سنة 1900 الذين بينوا ان العلاقة التوصيلية تتعلق بفروقات الحرارة وبالزخم وكلاهما يتدخل في القياسات .

إن التوصيلية في البلور درست تباعاً من قبل سينارمونت (1847) وفون لانغ (1868) وجانيتاز (1873) ورونتجن (1874) الذين قرروا أن السطوح التحاررية (isothermes) هي اهليلجيات (ellipsoïdes) ذات طبيعة متعلقة بالسمة الأساسية في النظام التبلوري .

توصيلية السوائل : إن تحديد هذه الكمية يلاقي صعوبات خاصة ـ خاصة مع وجود تيارات حمل حراري (Convection) ـ وهذه الصعوبات شوهت تماماً المحاولات الأولى التي جرت في اواخر القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر . وعلى هذا وبعد تجارب حصلت بين 1792 و 1797 استخلص رومفورد عدم توصيلية السوائل والغازات ، وهو زعم لم يتغير إلا بصورة مختصرة على يد نيكولسون وموراي . وجرت قياسات اكثر دقة سنة 1839 من قبل دبرتز ، فاثبتت توصيلية الماء ، واتاحت التعبير عن قانون التنازل الأسي لدرجة الحرارة داخل السائل ، تبعاً لمسافة النقطة المدروسة وبعدها عن مصدر الحرارة . وقد جهدت التجارب اللاحقة التي قام بها غونتري (1868) وونكلمان (1880) ووشموث (1893) الخ.، في استبعاد بعض اسباب الخطأ ، ثم ـ بشكل غير كامل ـ تحسين الدقة في النتائج الحاصلة .

توصيلية الغازات : إن هذا القياس اعترضته مصاعب تجريبية اكبر ايضاً ، فلم يعالج بشكل جدي الا بصورة متأخرة . وقد دلت تجارب وقياسات ماغنوس (1861) ونار Narr (1871)، وستيفان Stephan (1872) ، وونكلمان Winkelmann (1872 - 1893) واندروز Andrews، أن الغازات لها قابلية توصيلية حرارية تتعلق بطبيعتها (إن الهيدروجين اكثر توصيلاً من بقية الغازات) ثم بضغطها

V - تعادل الطاقة الميكانيكية والحرارة

دلت تجارب رومفورد (1798) ، حول التسخين الحاصل اثناء حفر المدافع أن الكالوري الكبيرة تساوي تقريباً 570 كلغ متر (والخطأ النسبي هو $\frac{25}{100}$ تقريباً) . وفسر رومفورد هذه النتيجة فاعتبر الحرارة كحركة ، وهو تصور اعتمده دافي وأمبير دون ان ينالا اجماع الموافقة .

ومن سنة 1840 إلى سنة 1849 عاد جول الى قياس المعادل الحراري للطاقة الميكانيكية المبددة ، إما من جراء الدوران في ماء الكالوريمتر لجهاز ذي اجنحة مجرور بفعل سقوط وزن ، أو باحتكاك صحنين معدنيين . وهكذا حصل على نتيجة ممتازة وسطى : J = (معادل الكالوري الكبرى) = 423,4 كلغ متر . (والخطأ النسبي هنا هو أقل من $\frac{1}{100}$) ثم بطريقة مماثلة حصل رولاند Rowland ، في سنة 1880 ، وبفضل تقنية تجريبية شديدة الدقة ، على نتيجة اكثر دقة (4,184 جول كمعادل للكالوري بين 17و18°C) نشير أيضاً إلى التجارب التي نفذها هيرن Hirn . في سنة 1858 استخدم هذا الفيزيائي صدمة اسطوانة معدنية فحصل على النتيجة (J = 425,2 كلغم) . وهي نتيجة اقل دقة بقليل من النتيجة الوسطى التي توصل إليها جول . وحاول هيرن ايضاً ان يحدد الخسارة في الحرارة التي تقترن

بالعمل الحاصل ضمن الأسطوانة في آلة بخارية . ولكن تعقيد طريقته لم تمكنه من الحصول إلا على نتيجة تافهة (J = 398 كلغم) .

VI - تغير الأحوال

بخلال القرن التاسع عشر ، بدت مساوىء الطريقة القديمة في تصنيف الأجسام تبعاً لحالاتها : جوامد ، سوائل ، وغازات ، وذلك بشكل واضح جداً ، ذلك أنه قضت الضرورة بالتفريق بين حالتين من الجماد لكل منهما خصائص مختلفة تماماً عن الأخرى : حالة التبلر وفيها تكون المادة موزعة تبعا لتجميع شبكي أو متشابك ـ وهو توزيع يعطي للمجموع صفة اساسية متباينة الخواص ـ والحالة الزجاجية وتتميز بترتيب غير منسق في الجزيئات مع تماثل في الخواص الرئيسية الإجمالية الضخمة . إن هذه الخصائص الأخيرة فيها بعض التماثل مع خواص الحالات السائلة والغازية (حالات يمكن تصنيفها تحت اسم حالة الميوعة أو السيولة) .

الذوبان والتجمد : إذا كانت هاتان الظاهرتان ، في الأجسام المتبلرة ، محدّدتين تماماً بكل من التغيرات الفيزيائية ، فبالمقابل ، وبالنسبة إلى الأجسام غير المتبلرة ، تبدو ظاهرة الذوبان من خلال تغير مستمر في الخصائص الميكانيكية . وعلى كل يمكن تحديد نقطة الذوبان بواقع أن درجة حرارة الجسم ، الخاضع لتأثير مصدر حراري ، تبقى مستقرة طيلة مسار الظاهرة .

وكذلك الأمر بالنسبة إلى التجمد. هاتان الحالتان من التغير يمكن توضيحهما بوضع منحنيات تمثل درجة حرارة الأجسام المدروسة تبعاً للزمن . وقد رسمت هذه المنحنيات من قبل لو شاتيلي ، ثم من قبل تامان Tamman وشاربي Charpy (1895) . وقد اتاحت انماط منوعة من الأجهزة تسجيل هذه المنحنيات بشكل اوتوماتيكي : إن ظاهرة فوق الذوبان ـ أي ابقاء الجسم في حالة سيولة تحت نقطة التجمد ـ قد لوحظت من قبل العديد من المجربين ، إمّا في حالة الفوسفور الذي يمكن الابقاء عليه سائلا حتى درجة (25) سنتغراد ، في حين أن نقطة تجمده العادية هي 44 درجة سنتغراد ، أو في حالة الماء . فقد بين غاي ـ لوساك أنه بالامكان بدون تجميد، تبريد كمية من الماء حتى المدرجة (12°C −) وذلك بتغطيته بطبقة بسيطة من الزيت ، فقد لوحظ فيما بعد أن ظاهرة فوق الذوبان تتوقف عندما يحرك السائل بقضيب من الزجاج . وقرر دبرتز Despretz ومونتي Monti أن مطلق سائل يمكن أن يبقى عليه مذوباً ، حتى لو تعرض لحركات عنيفة . وتوقف ظاهرة فوق الذوبان ، الملحوظة سابقاً ، تم تفسيرها عندئذٍ بادخال بعض من عناصر متنوعة تلعب دور مسهل التبلر .

تأثير الضغط على نقطة الذوبان : لقد تثبت العديد من المجربين بخلال القرن ، من أن نقطة الذوبان في اي جسم جامد ترتفع أو تنخفض بتأثير زيادة الضغط ، وبحسب ما إذا اقترن ذوبان المادة المدروسة بزيادة أو نقص في الحجم . وبناء عليه بين و. تومسون أن نقطة ذوبان الثلج تختلف بمقدار 0,00812° C − ، عندما يزداد الضغط بمعدل جويّة واحدة . وقامت دراسات مماثلة بالنسبة إلى اجسام اخرى على يد بونسن ، وهوبكنز Hopkins ، وآماغات Amagat ـ وهذا الأخير استطاع بفضل تقدم تقنيات الضغط العالي ، أن يجري تجاربه تحت ضغوطات انتقلت خلال بضع سنوات من بضع مئات « الجويّات » إلى 3000 جويّة (1890) . ونذكر أخيراً السلسلة الجيدة من التجارب حول ظاهرة

اعادة التجمد ، المحققة في سنة 1871 من قبل الفيزيائي الانلكيزي تندال Tyndall .

الدراسة التجريبية لنظام السائل ـ بخار : من المعلوم أن كل سائل يتمتع بسطح حر تصدر عنه ابخرة في هذا السطح . وإذا كان الفراغ موجوداً فوق السائل ، فإن التبخر يحدث بسرعة كبيرة . أما إذا كان السائل مضغوطاً بغاز أو ببخار فإن ظاهرة التبخر تصبح ابطأ وتتوقف عندما يبلغ ضغط البخار حداً أقصى (يسمى ضغط الاشباع) وهذا الضغط تابع لدرجة الحرارة . ومن جهة اخرى يتمتع البخار البعيد جداً عن ضغطه الاشباعي بالخصائص الرئيسية التي يتمتع بها الغاز ، كما أنه يتبع ، بشكل خاص ، وبدرجة اولى من التقريب قوانين بويل ـ ماريوت ، وغاي ـ لوساك . وبخلال القرن التاسع عشر اهتمت دراسات كثيرة بموضوع دراسة تغير ضغط الاشباع تبعاً لدرجة الحرارة . وبعد تطبيق التجارب هذه على الآلة البخارية ، اصبح الماء موضوع العديد من الأشغال ، بقصد استكمال ، وتحسين النتائج المتتالية الحاصلة ، ونكتفي بالتجارب الرئيسية ذات المدلول النظري ، فنذكر بشكل خاص تجارب شميدت Schmidt (1800) ، وات Watt (1814) ، ودالتون ، وغي لوساك ، وبيوت ودولون وماغنوس ، وبشكل خاص البرنامج الواسع حول القياسات الذي قام بههـ. ف. رينيو اثناء التجارب التي جرت بشكل منهجي خالص ودقيق بناء على طلب اللجنة المركزية للآلات البخارية . وقد وسع معظم هؤلاء المجربين قياساتهم فاشملوها سوائل اخرى ، محاولين عبثاً الحصول على قوانين عامة . وجمع رينيو نتائج تجاربه ما بين 1854 ،و1860 في صيغة لوغريثمية ذات ثلاثة حدود يدخل فيها معاملات تتعلق بالسائل المدروس .

ونذكر أيضاً أن دالتون ، منذ 1804 ، قد اعلن عن قانون وجبه يكون ضغط الاشباع في البخار مساوياً لضغطه في فضاء يحتوي على غاز حيادي أو في فراغ ، وهذا القانون ثبتت درجة تقريبيته في سنة 1854 من قبل رينيو .

الغليان : كانت هذه الظاهرة موضوع العديد من الدراسات . إن تغير درجات حرارة الغليان التابع للضغط ، كان موضوع دراسة خاصة من قبل رينيو ، الذي تثبت من أن المنحنى التمثيلي لهذه الظاهرة يتطابق مع منحنى ضغط الاشباع . ودرس تأثير مادة الاناء ، وكذلك ظاهرة الحماوة الزائدة أو تأخر الغليان (جرنيز Gernez ، 1875) .

إن ظاهرة التسخين ، التي تحدث عندما تقع نقاط من سائل ما ، فوق سطح ذي درجة حرارة اعلى من درجة غليانه ، قد درست من قبل بوتنيي Boutigny وغوسارت Gossart وستارك Stark ؛ وتوضح دور الحماوة في بعض انفجارات القازانات ، وبذات الوقت توضحت الاحتياطات الواجبة لتفادي مثل هذه الحوادث .

الهيغرومتريا (قياس الرطوبة الجوية) : نذكر أن الحالة الهيغرومترية المطلقة تتحدد بالعدد (f) من غرامات البخار المائي الموجود في متر مكعب من الهواء ، في حين أن الحالة الهيغرومترية النسبية هي نسبة (f) إلى العدد (F)من غرامات الماء الضرورية لاشباع متر مكعب من الهواء في درجة حرارة معينة (t)

وإلى الهيغرومتر (المرطاب) ذي الشعر ، الذي وضع تصميمه هـ . ب. دي سوسور Saussure قبل

سنة 1783 والـذي استمر ، بفضـل تصميمه البسيط والعمـلي ، شائعـاً وناجحـاً ، اضيفت نمـاذج جـديـدة من الآلات .

والطريقة المسماة « نقطة الندى » تقوم ، بنوع من الأنواع ، على قياس درجة الحرارة ('t) التي يستمر عندها ضغط بخار الماء ، في الفضاء المدروس ليصبح ضغطاً اشباعياً . ويكفي من اجل ذلك خفض درجة الحرارة في جسم غاطس في هذا الفضاء، إلى أن تظهر على سطحه حبيبات من الندى (نقطة الانداء) . ويعطي قياس درجة الحرارة هذه، بعد مراجعة جدول ضغوطات الاشباع ، النتيجة المطلوبة ، ووضع اجهزة مرتكزة على هذا المبدأ مرتبط ارتبـاطاً مبـاشراً بـالدرس الـدقيق لضغوطـات الاشباع ، كما هو مرتبط من جهة اخرى بتحقيق وانجاز معدات عملية تمكن من الحصول على تبريـد سريع ومستمر بواسطة تبخير سائل طيار . وكان أول جهاز من هذا النوع ، صممه دانيال سنة 1820 ، قد استكمل فيها بعد من قبل رينيو سنة 1845 ، ومن قبل الوار Alluard سنة 1878 ، وكروفا Crova سنة 1883 .

ووضعت طريقة اخرى سنة 1810 في بسيكرومتر (مقياس لرطوبة الجو) لسلي ، واستكمل من قبل غاي‌لوساك سنة 1822 ، وأوغست سنة 1825 حتى 1848 . وهذه الطريقة تقوم على مقارنة الدلالات في ترمومترين ، احدهما ناشف والآخر رطب ، وتقوم على استعمال القانون الذي اعلنه دالتـون سنة 1803 : وقوامه أن سرعة تبخر الماء (أي انخفاض درجة الحرارة في الترمومتر الـرطب) تتناسب مـع الفرق بين الضغط الحقيقي لبخار الماء وضغط الاشبـاع في درجة حـرارة الفضاء (أي درجـة حرارة الترمومتر الناشف) .

درجة الحرارة **الأشكالية** (Critique): **والحـالة الاشكـالية** : عنـدما بـين غي لوسـاك أن الأبخرة الخاضعة لضغط متدنٍ جداً عن ضغط الاشباع ، تتصرف كـما لو كـانت غازات كاملة، وأوضحت بحوث كانيار دي لاتور في سنة 1822 ، امراً مهماً آخر . فقد بين هذا المجرب ، في هذا الشأن ، أنه بعد درجة حرارة ما ، قد يتحول السائل الموجود في وعاء مغلق باحكام ، إلى بخار خالص ، وحدد ، بالنسـبة إلى سوائل عدة ، درجات الحرارة ، والضغوطات التي تتناسب مع هذه « الحالة الاشكـالية » (الأثير السولفوري : 175 °C، 38 جوّية ؛ كحول : 248 °C، 119 جويّة ؛ الخ) .

إن تحديد شروط الحالة الاشكالية ، قد تمت العودة إليه في سنة 1867 من قبل اندروز وبواسطة جهاز اقوى بكثير ، وبواسطة طرق للقياس اكثر دقة . واتخذ كمثـل غازاً أسهـل تسييلاً هـو الغاز كربونيك ، ووضع شبكةً من المنحنيات الايزو ترمية (درجة التحارر) ، (ضغط كتلة معينة من جسم ما تبعاً لحجمه) . واثبت وحدد بشكل ايجائي خـالص « الايزوتـرم » الاشكالي (المتـوافق مع درجـة الحرارة الاشكالية : 30,92 °C) ثم ، فوق هذا المنحنى ظهرت الاحداثيات الضغط والحجم) التي تمثل نقـطة الاشكال وفي سـنـة 1870 قبل كايتيه (Cailletet) بوجـود نقطة اشكـالية بـالنسـبة إلى كـل الغازات ، وهذا الزعم قد ثبت بصورة تدريجية بخلال السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر من قبل نـاتيـرر Natterer ، وكايتيه Cailletet وكـولاردو Collardeau ومـاتيـاس Mathias ، وكـامـرلنـغ أونـس K . Onnes ، الخ ، وذلك بفضل تحسين تقنيات درجات الحرارة المنخفضة جـداً وبفضل

التقدم الموازي في وسائل الحصول على ضغوطات مرتفعة . وكانت هذه التجارب حول الحالة الاشكالية ذات علاقة اكيدة بالأعمال العديدة التي حدثت منذ بداية القرن التاسع عشر من اجل تحديد القوانين الدقيقة حول تمدد الغازات وقابليتها للضغط ، عند درجة حرارة ثابتة ، (قوانين غي لوساك وبويل ـ ماريوت Boyle - Mariotte التي بدت وكأنها التقريبات الأولى غير القابلة للتطبيق بكل دقة إلا على الغازات الكاملة)،وكذلك بناء على المحاولات الموفقة نوعاً ما من اجل تسييل الغازات المعروفة : بواسطة التبريد ، أو الضغط أو باستعمال هاتين الوسيلتين بآنٍ واحد . وبعد التجارب حول الضغط ، التي قام بها ارستيد سنة 1806 ودولون وآراغو سنة 1825 ، ودبرتز سنة 1827 ، وبوبيه سنة 1837 ، جاءت تجارب رينيو التي تمت بدقة مثالية . وفي النصف الثاني من القرن تمت العودة إلى هذه الأعمال بواسطة جهاز مستمر القوة وبواسطة آلات قياس اكثر دقة : ونذكر بشكل خاص المحاولات التي قام بها اندروز وكايتيه وآماغات الخ . وقد ساهم آفيناريوس ، ومندليف وفان در ولز الخ مساهمة مهمة بهذه الأعمال ، وكذلك ، كما سنرى في الفصل التالي ، في تفسير نتائج التجارب .

وفي مجال تسييل الغازات ، تتالت النجاحات بسرعة : آنيدريد سولفورو (مونج ، 1784) الكلور (نورثمور ، 1805) آسيد سولفودريك ، آسيد كلوريدريك ، سيانوجين ، آمونياك (فراداي 1823 - 1825) الخ . وفي سنة 1835 نجح تيلوريه Thilorier في تجميد الغاز كربونيك .

ولكن بالنسبة إلى بعض الغازات لم يستطع المجربون المتالون النجاح في محاولاتهم التسييلية . في سنة 1854 فشل ناتيرر بدوره في محاولاته من اجل تسييل بعض الغازات المسماة « دائمة » ، مثل الهيدروجين والآزوت والأكسيجين واوكسيد الكربون، والميتان ، وذلك رغم استعمالهم ضغوطات تصل إلى 2800 جوية . وفسر اندروز بعد ذلك بقليل ، سنة 1867 ، أن هذه الخيبات المتكررة لم يكن سببها إلا أن درجة الحرارة الأدنى ، الحاصلة يومئذٍ (− 110 °C) يجب أن تكون اعلى من درجة الحرارة الاشكالية في الغازات المدروسة . وثبتت صحة هذه النظرة في اواخر 1877 على يد كايتيه، الذي حصل ، باستعمال التبريد الفجائي المتقطع على درجات حرارة اكثر انخفاضاً مكنته من رصد ،إن لم يكن تسييل هذه الغازات ـ ،فعلى الأقل ظهور ضباب بداخلها . وهذه الملاحظة بالذات حصل عليها الجنيفي راوول بيكتت الذي استعمل طريقة التبريد المتدرج ، والتي درسها من اجل غايات تطبيقية عملية . وبعد ذلك بقليل ، اي في سنة 1883 نجح البولونيان روبلوسكي Wroblewski واولزوسكي Olszewski في تسييل كميات صغيرة من هذه الغازات بالذات وتبعهما الانكليزي ديوار Dewar الذي حصل في سنة 1898 لأول مرة على الهيدروجين السائل بكميات ملحوظة . وفي أواخر القرن التاسع عشر كانت مسألة تسييل الغازات المسماة دائمة قد حلت ، باستثناء الهليوم الذي لم يسيل إلا في سنة 1908 من قبل الفيزيائي الهولندي كامرلين أونس Kamerling Onnes في المختبر التجليدي (الكريوجيني) الشهير الذي انشأه في ليد من اجل التصريد (أي التبريد الشديد) .

بعض التطبيقات : رغم أن التطبيق التقني هو خارج نطاق دراستنا . يتوجب علينا مع ذلك التذكير بأن القرن التاسع عشر قد حقق ـ إلى جانب الجهود التجريبية التي اتينا على ذكرها ـ تقدماً ضخماً في مجال التقنيات الحرارية المتنوعة .

فكانت في البداية سرعة استخدام القوة المحركة للنار ، بفضل التقدم الحاصل في صنع الآلات البخارية ، وفي استعمال هذه الآلات كعوامل محركة للعديد من الآلات التي ثورت مجمل التقنيات الصناعية ، وبشكل خاص السفن البخارية والقطارات ، التي طورت بخلال عدة عقود شروط نقل البضائع والمسافرين . وأنه أيضاً ، في مجال الآلات الحرارية بالذات ، تم صنع أولى التوربينات المستخدمة فعلاً ، كما تم اختراع موتور التفجير الذي ادى تطوره السريع ـ المعزو جزئياً إلى استعمال محروق جديد هو البنزين ـ إلى اتاحة ولادة ثم تقدم وتطور السيارة والمناطيد الموجهة ، وبعدها ظهور الطيارات الأولى ثم اولى الغواصات . وقد عرفت نهاية القرن تقدماً جديداً في السيطرة على الطاقة بفضل الموتور ذي الاحتراق الداخلي الذي اتاح للموتورات الحرارية ان تثبت مكانتها المهددة من جراء اختراع اليدنامو واستعمال النفط « الأبيض » .

وانه بخلال القرن التاسع عشر أيضاً تمت ولادة صناعة التبريد ، وذلك بفضل اختراع وصُنع آلات التبريد المرتكزة على مختلف المبادىء المستعملة ايضاً في مختبرات التصريد . وأدى ازدهار هذه الصناعة ، البطيء أولاً ، وبسرعة فيما بعد إلى قيام ثورة في الصناعة الغذائية وذلك باتاحة امكانية الحفظ المديد للأطعمة القابلة للتلف .

والواقع أنه ، في مجال الحرارة والبرودة ، إذا كان التمييز بين العلم والتقنية اكيداً في الحالات القصوى ، فقد كانت هناك عبر القرن التاسع عشر مناطق واسعة متداخلة كما كان هناك العديد من التقدم العلمي الذي كان في اساس التحسينات التقنية الجذرية بصورة مباشرة ، في حين اتاحت البحوث التقنية للعلم الخالص كي يعرف التطور المهم والكبير .

الفصل السادس

ولادة وتطور علم الترموديناميك

إن القرن التاسع عشر يتميز ، من ناحية الحرارة ، بصورة أساسية ، باكتشاف مبدئين كبيرين في الترموديناميك[1] . وأول هذين المبدئين هو مبدأ حفظ الطاقة الذي لاقى ، كما سبقت الاشارة في المجلد السابق (راجع المجلّد الثاني) عناءً كبيراً في فرض نفسه ، ولهذا ، وإذا وضعنا جانباً التحسينات في تقنيات القياس ، لا نجد أن بداية القرن قد قدمت شيئاً جديداً . وكان لا بد من انتظار تطور الأفكار بشكل كافٍ حتى تتقبل الفكرة بأن صورة « الحراري » ، وعدم امكانية تدميره ، مهما كانت فائدتها السابقة ، كانت مفهوماً مضللاً ومغلوطاً يجب أن ينزاح امام صورة اخرى اعم هي صورة « الطاقة » ، وعدم امكانية تدميرها ، أو بصورة افضل ، امكانية حفظها ـ ذلك أن كلمة عدم القابلية للتدمير توحي بفكرة الوجود المادي ، وهو وجود لم يُعْطَ للطاقة ، إلى أن تمّ حديثاً اكتشاف « جمود الطاقة » . إن صورة الحراري كانت قد ترسخت بشكل مكين في الأفكار إلى درجة حملت ـ كما سنرى ـ عالماً من مستوى سادي كارنوت Sadi Carnot ، إلى القول ، وإلى استخدام المبدأ الثاني في الترموديناميك وهو المبدأ الذي حمل اسمه ، ولم يتركه (على الأقل في البداية) وحتى وهو يستعمله .

I - حفظ الطاقة

عمل سادي كارنوت: في كتاب « أفكار حول القوة المحركة للنار » (1824) الذي وضعه سادي كارنوت (1796 - 1832) ، تم لأول مرة وضع رابط بين الحرارة والعمل (وهذه العبارة الأخيرة لم تدخل في المعجمية العلمية إلا في سنة 1826 على يد بونسيلي Poncelet) ؛ اكد كارنوت ـ كما ان الموتور الهيدروليكي لا يمكن أن يعمل إلا إذا مر الماء من مستوى اعلى إلى مستوى أدنى ـ كذلك لا يستطيع الموتور الحراري أن يعمل إلا إذا انتقلت الحرارة من درجة أعلى إلى درجة أدنى ، أو كما نقول نحن الآن ، من مصدر ساخن إلى مصدر بارد . (وبالتالي ، في حين ان العمل الميكانيكي يمكن أن يتحول

(1) ترمو : حرارة ـ ديناميك : حركة .

بكامله إلى حرارة ، فإن هذه لا يمكن أن تتحول إلا جزئياً إلى عمل ميكانيكي . وهذه الملاحظة أدت إلى اعتبار الحرارة كشكل متدنٍ من الطاقة . وهذا ما سمي بتدهور الطاقة) .

وهنا نجد صيغة من صيغ ما نسميه المبدأ الثاني في الترموديناميك ، أو مبدأ كارنوت . ولكن هذا العمل لم يلاق النجاح المرجو لأن كارنوت كان يفترض يومئذٍ « عدم امكانية تحطيم الكالوريك» أو الشيء الحراري . ونقول حالاً أنه في سنة 1878 عثر على مذكرة تركها كارنوت قبل موته ، وفيها يصحح غلطه ، ويشير ، إنما دون اثبات أو تبرير ، إلى القيمة الصحيحة نوعاً ما للمعادل الحقيقي الميكانيكي لوحدة الحرارة . ولكن في ذلك التاريخ كان مبدأ حفظ الطاقة (وهو تعبير وجد منذ سنة 1807، بفضل توماس يونغ) معروفاً تماماً ، ولذا لم يكن لمذكرة كارنو هذه أي تأثير على تطور العلم .

المعادل الميكانيكي لوحدة الحرارة : في سنة 1842 ثمّ بشكل اوضح في سنة 1845 ، قدم روبير ماير (1814 - 1878)، ولأول مرة قيمة لهذا الشيء ، وذلك بفضل تحليل يمكن ايجازه بما يلي :

عندما نسخن ، بمقدار درجة (C° واحدة) ، غراماً من الغاز ، في ظل ضغط ثابت (p_0) ، فإن حجمه (v_0) يزيد بما يعادل $v_0\alpha$ باعتبار α معادلاً لمعامل التمدد . وكان لا بد من تقديم حرارة بما يعادل (Cp) (الحرارة النوعية في الضغط الثابت) ونحصل على عمل يساوي ($p_0v_0\alpha$) . وبتسخين هذا الغرام من الغاز درجة مئوية واحدة ، مع الحجم الثابت ، نكون قد قدمنا فقط Cv (الحرارة النوعية ضمن حجم ثابت) ، ولكن لا نحصل على أي عمل . اما الفرق (Cp − Cv) ، فيجب أن يساوي العمل ($p_0v_0\alpha$)، ثم إذا كان (J) المعادل المطلوب فيجب ان نكتب :

$J(Cp - Cv) = p_0 v_0 \alpha$ ومنه نستخرج (J) .

وإذا كان هذا التحليل دقيقاً ، فكان من الواجب العثور على نفس القيمة مهما كان الغاز ، وهذا لم يحصل . ذلك أن ماير طرح ضمناً فرضية مفادها أن تغير الطاقة الداخلي باطل عند تمدّد متحارر (ايزوترم) ، وهذا امر لا يصح إلا بالنسبة إلى الغازات الكاملة (غي لوساك ، 1807 ، وجول سنة 1845) . وهذه النتيجة شكلت قانون جول بعد أن استخدمت كتعريف للحالة الكاملة .

فضلاً عن ذلك ، لم يكن ماير في عمله ينظر فقط إلى (J) ، ولكنه ترقب ايضاً التطبيقات الكهربائية والبيولوجية لمبدأ الحفظ العام . وفي مذكرة عامة ثالثة من سنة 1848 ، ترقب حتى مسألة الدفق والتراجع في البحار، وطرح مسألة الطاقة الشمسية ، وشرح التلظي في شهب النيازك عن طريق الخسارة من الطاقة الحركية في الفضاء . ونرى أنه في الاجمال ، انصب اهتمام ماير الأساسي على البحث عن ثابت . ونجد بالتالي احدى التصورات الغالية عند هنري بوانكاريه: كل شيء محكوم بنظام من المعادلات التفاضلية وهذا النظام يفترض بالضرورة استكمالات اولى واحداها ، المختارة بشكل ذكي، يمكن دائماً ان يسمى « طاقة » ، الأمر الذي يجعل من مبدأ حفظ الطاقة تعريفاً عموماً. وعدا عن طريقة روبير ماير ، جرت في البداية تجارب عديدة بهدف : اما التثبت من مبدأ حفظ الطاقة أو تحديد قيمة J بدقة .

وفي المجموعة الثانية ، يتوجب علينا اولاً ذكر التجارب المعروفة عن جول . والتي بدأت في سنة 1840 حتى نشرت بين 1843 و 1850 وفيها تم تحويل العمل (الحاصل مثلاً بفضل سقوط الأوزان) إلى

حرارة ، وذلك باستخدام احتكاك الماء ببعضه . وقد ادخلت تحسينات على هذه الطريقة من قبل جول نفسه سنة 1878 ومن قبل رولاند Rowland (1879 - 1880) ومن قبل ميكوليسكو Miculescu سنة 1892 . وهناك طرق اخرى كهربائية مثلاً ، استخدمت ايضاً ، وفي النهاية كانت النتائج مضمونة وواضحة حتى أن المؤتمر التاسع العام للأوزان والمكاييل الذي انعقد سنة 1948 ، قد اعتمد الجول (J) (وحدة عمل) كوحدة حرارية من اجل تحديد الكالوري بما يعادل تماماً : 4،1868 جول .

وكانت التجارب في المجموعة الاولى ، كما تم تصورها أقل دقة ولكنها استخدمت ظاهرات متنوعة جداً تتضمن تحول العمل إلى حرارة كما تتضمن التحول المعاكس . ونذكر تجارب جول حول الضغط أو حول تمدد الهواء ، ونذكر تجارب هيرن Hirn سنة1858 ، حول دهس الرصاص ، وهو معدن لا يمكن تطريقه ، وتحول الآلة البخارية ، ثم تجارب ادلوند Edlund سنة 1865 حول مد الخيوط المعدنية وتجارب فيول Violle سنة 1870 وهو يستعمل تيارات فوكولت ، وتجارب بيرو Perot سنة 1887 حول حرارة تبخر المياه . وسوف نعالج في المجلد التالي الصيغة التجريدية للمبدأ الذي ظهر سنة 1901 من قبل جان بيرين Perrin ، وكذلك اللاحق الذي استعمله ب . لانجيفين Langevin من أجل وضع القوانين العامة في الميكانيك .

الترمو كيمياء : من بين التطبيقات الأخرى العديدة جداً ، في حفظ الطاقة ، نذكر مثل الترمو كيمياء . ان تغير الطاقة الداخلية (وهي مجموع الحرارة والعمل المستعمل شرط التعبير عنهما بنفس الوحدة) لا يتعلق إلا بحالة البداية وبحالة النهاية في النظام المنظور . ويثبت ذلك بالنسبة إلى العمل الميكانيكي كل مرة يكون فيها الحجم أو الضغط ثابتاً ، وكذلك الأمر بالنسبة إلى الحرارة . وقد تم العثور على هذه النتيجة بصورة تجريبية من قبل هس Hess سنة 1841 ، حول المثل الخاص المتعلق بحرارات الاشتعال .

وهذا الاكتشاف قد صحح خطأً شائعاً نوعاً ما ـ وقد كان ما يزال مقبولاً لدى الكيميائي العظيم ليبيغ Liebig في سنة 1845 . وبالواقع ، وعلى أثر القياسات الدقيقة بشكل غير كاف والتي قام بها دولون سنة 1839 ، تم التوصل إلى الاستنتاج بأن حرارة حريق جسم مركب تعادل مجموع حرارات احتراق العناصر التي تشكله . ومبدأ هس قد استخدم دائماً من قبل فافر Favre ومن قبل سيلبرمن Silbermann في جملة ملحوظة من القياسات تمت سنة 1852 ، وكانا أول من استعمل كلمة كالوري للدلالة على وحدة كمية الحرارة .

II - مبدأ كارنوت

إن مبدأ حفظ الطاقة ليس في مجمله إلا التأكيد على استحالة الحركة الدائمة من النمط الأول : ولا يمكن تصور موتور يعمل بدون أن يأخذ شيئاً من الخارج .

والمبدأ الثاني أو مبدأ كارنوت ، أو أيضاً مبدأ التطور ، يؤكد على استحالة الحركة الدائمة من الصنف الثاني ، ولا يمكن تصور آلة تواترية يكون دورها الوحيد تحويل الحرارة إلى عمل . إن مثل هذا التحول مقترن دائماً بنقل كمية اضافية من الحرارة من درجة اعلى إلى درجة أدنى . وهنا يبرز ما لحظه

بوضوح سادي كارنوت ، إلا أنه حتى سنة 1850 قام رودولف كلوسيوس (1822 - 1882) ثم ، في سنة 1854 وليام تومســون (لورد كلفن Kelvin فيـما بعد ، 1824 1907) بـاثبات كـل اهمية هـذا المبدأ ، واستنتجـا منه كل الاستنتاجات مع اقرارهما بكامل عبقرية سادي كارنوت .

دورة كارنوت : إن الطريقة الأبسط في تصور موتور لا يستعمل إلا مصدرين من الحرارة تقوم بالتأكيد على ما يلي :

1 - إذا كان هناك كتلة معينة من المائع الموصـول بترموستات في درجة حرارة معلومـة (t_1) (المصدر الساخن) ، يتمدد فيحدث عملاً ما

2 - هذا السائل ، المعزول حرارياً ، يستمر في التمدد (بشكل ثابت الحرارة) مستبرداً إلى درجة حرارة (t_2) أقل من t_1 ، مع انتاج عمل .

3 - وبعدها يوصل بترموستات ذي درجة حرارة t (مصدر بارد) ثم يضغط (أي المائع) مع تزويده بالعمل إلى أن يحتل حجما بحيث :

4 - يقوم تحول جديد ثابت الحرارة فيرده إلى الحالة الأساسية .

هذا المائع يكون بعدها قد اجتاز حلقة ، يمكن تكرارها بمقدار الرغبة (وعندها يكون قد تكون موتور بالمعنى المعتاد للكلمة) ، وذلك مع عدم تبادل الحرارة الا بين مصدرين ، ومع انتاج عمل اعلى من العمل المقدم للموتور في المرحلتين الأخيرتين من الدورة .

وهنا يقع ما يسمى بدورة كارنوت التي يعرّف انتاجها بأنه حاصل العمل المحدث فعلاً بفضل العمل المحصول عليه عند امكانية التحويل الكامل إلى عمل الحرارة المستقرضة من المصدر الحار ، دون وجوب رد قسم منها إلى المصدر البارد. وبقول آخر إذا كانت Q هي الحرارة المأخوذة من المصدر الحار و (Q_2) الحرارة المردودة إلى المصدر البارد فإن المنتوج يعبر عنه بما يلي : ($Q_1 - Q_2/Q_1$) ، وهو دائماً اقل من الوحدة .

ولا يتيح مبدأ كارنوت بشكله الأساسي إلا كتابة « لا معادلتين » ، لأنه يؤكـد فقط بان العمل الذي يقدمه نظام مرتبط بمصدر واحد من الحرارة ، هو بالضرورة عمل سلبي .

والتأمل في التحولات المرتدة ، كما جرى على يد كلابيرون Clapeyron (1843) يتيح استخلاص معادلتين من مبدأ كارنوت ، وهو امر جوهري حتى تستطيع قواعد التحليل الرياضي أن تطبق بشكل مثمر . ومثل هذا التحول يمكن أن يتحقق في الاتجاهين . ومن الواضح أنه إذا كانت هناك دورة قلابة حاصلة بمساعدة مصدر واحد ، فإن العمل المقدم يجب أن يكون باطلاً إذ يجب أن يكون سلبياً من وجهة كما من وجهة اخرى سنداً للمبدأ الثاني . وهذه الحالة الخصوصية البسيطة جداً والمهمة مع ذلك تدل كيف أن مثل هذه التحولات تتيح كتابة معادلات . وعلى كل يكون من المفيد في اغلب الأحيان التأمل ايضاً في اللامعادلات .

وبتزاوج آلتين تعملان وفقاً لحلقة كارنوت ، على أن تكون احداهما على الأقل انعكاسية ، وتعمل ، ليس بموجب موتور ، بل باتجاه معاكس ، عندها يمكن ترتيب الأمر لكي يبقى المصدر البارد

غير محسوس . عندها يجري كل شيء كما لو كان المصدر الحار وحده عاملاً ، ومن هنا ينتج أن العمل الحاصل بفضل الآلة الأولى (التي يمكن أن تكون غير قابلة للانعكاس) يجب أن يكون مساوياً ، في اقصى حد للعمل المستهلك من قبل الثانية وينتج عن ذلك أن مردود آلة كارنوت يكون في ذروته عندما تكون هذه الآلة قابلة للانعكاس . وإذا كانت الآلتان قابلتين للانعكاس ، فإن مردودهما يجب أن يكون هو ذاته . فهذا المردود يجب أن يكون مستقلاً ، بشكل خاص ، عن طبيعة المائع الذي يتفاعل ، ويجب أن لا يتعلق إلا بدرجات الحرارة بين المصدرين العاملين . وإذاً يمكن حساب المردود ، بافتراض ان المائع هو غاز كامل ، ونحصل على هذه النتيجة ، المسماة غالباً « قاعدة كارنوت » ، ومفاد هذه النتيجة هو أن الانتاجية $(T_1 - T_2) / T_1 = (Q_1 - Q_2) / Q_1$ حيث تكون T_1 و T_2 درجتي الحرارة المطلقة المحددة بمعادلة حالة الغازات الكاملة : ($p\vartheta = RT$) المنشورة سنة 1843 من قبل كلابيرون Clapeyron .

السلم المطلق لدرجات الحرارة : ولكن بدلاً من قياس مردود الموتور ذي الغاز الكامل ، يكون من الأفضل اتباع رأي لورد كلفن . من المعلوم أن الأبعاد هي قابلة للقياس ، وذلك عندما يمكن تعريف ـ عدا عن مساواة بعدين منها ـ المجموع أو النسبة بين اثنين منها . ولكن رأينا ان النسبة $(Q_1 - Q_2)/ Q_1$ لا تتعلق إلا بدرجة حرارة المصدرين . ويكون الأمر كذلك حتماً بالنسبة إلى النسبة Q_1/ Q_2 . وعندها يكون بالامكان قياس درجات الحرارة إذا وضعنا النسبة Q_1/ Q_2 مساوية لـ T_1/T_2 التي هي نسبة درجتي حرارة المصدرين . وتستعمل هذه الطريقة في الوقت الحاضر بشكل تتزايد عموميته في تعريف سلالم مقاييس الحرارة الشرعية .

ومنذ 1924 عرف القانون الألماني العلاقة بين درجتي الحرارة باعتبارها العلاقة بين سخونات مستعملة بآلة حرارية قابلة للانعكاس وتعمل بين درجتي الحرارة المذكورتين . وتكون وحدة مسافة درجة الحرارة مختارة بحيث يكون الفرق بين درجة غليان الماء وذوبان الثلج مساوياً لمئة . يحدد القانون الفرنسي درجة الحرارة بالرجوع إلى غاز كامل . ورغم وجود تماثل بين السلمين ، فإن التحديد الترموديناميكي يمتاز بأنه يسجل درجة الحرارة على انها مقدار قابل للقياس ، وليس فقط يمكن تفصيه .

إن المحاضرة العاشرة العامة حول الأوزان والمكاييل (1954) قررت اعتماد التعريف الترموديناميكي (الوحدة تسمى درجة « كلفن » وتمثل بحرف °K) مثبتة ، ليس المسافة بين نقطتين محددتين ، بل نقطة واحدة ثابتة ، النقطة المثلثة للماء ، التي يجب أن تكون ، تماماً وبالتحديد (273.16 °K) . بعد الأخذ باخطاء التجارب التقريبية ثبتت عند الرقم 273.15K° درجة ذوبان الجليد تحت الضغط الجوي العادي وعند الدرجة K°373.15 درجة غليان الماء ، ايضاً تحت الضغط الجوي العادي . واعتبرت درجة الحرارة سلسيوس Celsius ، أي الدرجة المستعملة عادة وكأنها درجة الحرارة المطلقة منقوصة بالرقم 273.15 .

القصور الحراري : ننظر إلى دورة كارنوت القلابة . ما سبق يسمح لنا بكتابة :

$Q_1/T_1 - Q_2/T_2 = 0,$ أو بصورة افضل أيضاً : $Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0$ (1)

إذا بدلاً من تمثيل الحرارات المقدمة والمأخوذة تباعاً من مصادر الحرارة الحارة والباردة بـ Q_1 و Q_2 فاننا نمثل بهذين الحرفين الحرارة التي يقدمها كل من هذين المصدرين ، مما يوجب ابدال Q_2 بـ Q_2 ــ . والآن ننظر إلى دائرة ما ، تشغل عدداً ما من المصادر إنما القلابة . ونستطيع دائماً بعد تقطيعها بمثبتات للحرارة ، اعتبار هذا العدد وكأنه تراكم عدد كبير من الدورات المتقاربة جداً من حلقات كارنوت . ودون الالحاح على التحليل ، الدقيق قليلاً ، نرى أنه إذا جمعنا كل المعادلات (1) في ما خص كل من هذه الدورات نحصل على $\int \frac{dQ}{T} = 0$ ، باعتبار أن المتكاملة تؤخذ على طول الدورة الكاملة . ويستنتج من ذلك بسهولة ان المتكاملة $\int \frac{dQ}{T}$ المأخوذة ، ليس على طول الدورة ، بل على طول التحول الانقلابي غير المقفل (أي الذي لا تتطابق حالته الأساسية وحالته النهائية) ، إن هذه المتكاملة لا ترتبط إلا بالحالتين الأساسية والنهائية من دون الحالات الوسيطة . ويمكن اعتبار هذه المتكاملة وكأنها التغير بين الحالتين القصويين ، من وظيفة حالة النظام . وإلى هذه الوظيفة ، ذات التعريف الغامض قليلاً اعطى كلوزيوس ، في سنة 1865 اسم انتروبيا (Entropie) أو ثبوت درجة الحرارة ، رامزاً إليها بالحرف S.

وبدلاً من الدورة القلابة ، إذا كان الأمر يتعلق بدورة غير قلابة ، نبيّن أن المتكاملة $\int \frac{dQ}{T}$ بدلاً من أن تكون باطلة فهي سلبية . وينتج عن ذلك أن هذه المتكاملة بالذات المأخوذة على طول التحول غير المقفل ، هي دائماً اصغر عندما يكون التحول غير قلاب ، مما لو كان قلاباً ، أو بقول آخر ان هذه المتكاملة هي على الأكثر تساوي تقلب «الأنتروبيا» . ولكن إذا نظرنا إلى نظام معزول تماماً وفي حالة تطور يمكننا التأكيد على ما يلي :

1 - إن هذا النظام يتطور بشكل غير قلابي .
2 - إن كل الكميات من الحرارة (dQ) المستعملة هي باطلة .

وإذا استطعنا تصور تحول ارتدادي له نفس الأطراف التي للتحول الحقيقي (وهو ضروري من اجل تعريف التغير (Δ S) في الانتروبيا أو ثبوت الحرارة) ، عندها يمكن أن نكتب : $\Delta S \geqslant 0$ ، وهذا ما يترجم بقولنا أن انتروبيا نظام معزول لا يمكن أن تتنازل : إنها تتزايد بالنسبة إلى تحول غير ارتدادي وتبقى ثابتة في حال تحول انعكاسي . وهذه القاعدة حول نمو الانتروبيا قد لعبت دوراً رئيسياً في بعض التأملات الفلسفية حول فناء العالم ، وهي تأملات ترتكز في الواقع ، ليس فقط حول هذه القاعدة ، بل أيضاً حول هاتين الفرضيتين الاضافيتين :

1 - استحالة التنزيل تقتضي بالنسبة إلى « الانتروبيا » وجود ذروة .
2 - ان القاعدة يمكن أن تطبق على الكون باكمله باعتباره نظاماً معزولاً .

ولكن الكون باكمله هو نظام ليس على مستوانا ، حاله في ذلك كحال الجزيء الوحيد ، وسوف نرى أن المبدأ الأول لا يصلح في هذه الحالة الأخيرة .

الطاقة الحرة : سبق أن عرفنا وظيفتين (محددتين فقط عند ثابتة اضافية تقريباً) عن حالة نظام ما : الطاقة الداخلية (U) ثم « الانتروبيا » (S) . ويسهل علينا تعريف الكثير منها أيضاً ، بعضها يلعب دوراً رئيسياً .

ومن جراء كون العمل يجب أن يكون معدوماً ، في حلقة قابلة للانعكاس ، لا تستعمل إلا مصدراً واحداً من الحرارة (هو الدور الايزوترمي Isothermique) ، يستنتج بسهولة أنه في كل تحول ايزوترمي (غير دوري بالضرورة) لا يتوجب أن يتعلق العمل إلا بالحالات القصوى ، وإذاً يمكن اعتباره وكأنه تغير في وظيفة حالة النظام . ولدينا هنا وظيفة جديدة ترموديناميكية (F) اعطيت اسماء متنوعة ، من بينها نختار اسم الطاقة الحرة الذي قال به هلمولتز . ونبينّ أيضاً ، أنه ، في التحول المونوترمي غير الانعكاسي يكون العمل (W) المقدم إلى النظام دائماً اعلى من العمل المقدم له ضمن تحول ارتدادي له نفس الأطراف اي اعلى من تغير الطاقة الحرة ($W \geqq \Delta F$) .

وإذا كان التحول الحقيقي ، اللاارتدادي عموماً ، يتم بحجم ثابت ، فالعمل W يكون عدماً ، وعن ذلك ينتج : ($\Delta F \leqslant 0$) .

وتترجم هذه الواقعة بالقول ان الطاقة الحرة في نظام ما يتفاعل ضمن درجة حرارة وضمن حجم ثابتين ، لا يمكن ان تتنامى . ولا يمكنه أن يتناقص أو يبقى ثابتاً إذا كانت التحولات قابلة للارتداد . وهناك نتيجة مهمة لهذه القاعدة هي أنه إذا كانت الطاقة الحرة في نظام محبوس في درجة حرارة وفي حجم ثابتين هي دنيا ، فإن هذا النظام يكون بالضرورة متوازناً : وهي نتيجة تشبه قاعدة ميكانيكية تقول أن الطاقة الكامنة في نظام ميكانيكي متوازن هي دائماً دنيا.

وتتخذ هذه القاعدة اهمية أولية عندما تطبق على انظمة من شأنها ان تكون مركز تفاعلات كيميائية لأنها تعطينا عندئذٍ معنى واضحاً عن مفهوم «التآلف الكيميائي» . واقترح ج. تومسن في سنة 1858 ثم برتيلوت Berthelot في سنة 1865 قياس هذا التآلف عن طريق الحرارة المتصاعدة اثناء عملية تفاعل كيميائي ؛ إذ كانا يعتقدان (مبدأ العمل الذروي ، الذي قال به برتيلوت) ، أن كل تفاعل يتحقق عفوياً هو « اكزوترمي » (أي يصعد الحرارة إلى الخارج) . ولكن عندما يحفظ النظام ضمن حجم ثابت ، فالحرارة المتصاعدة تساوي التناقص ($-\Delta U$) من طاقتها الداخلية . ومبدأ برتيلوت يعبر عنه باللامعادلة التالية ($0 < \Delta U$ ـ أو $\Delta U > 0$).

في سنة 1882 اشار هلمولتز إلى أن هذه اللامعادلة ليست من الناحية الترموديناميكية ضرورية ، ولكن اللامعادلة ($\Delta F < 0$) ضرورية . واقترح إذاً قياس التآلف الكيميائي بتناقص ($-\Delta F$) من الطاقة الحرة .

وعرف هلمولتز أيضاً كيف يربط بين (ΔU و ΔF) وذلك حين اقر المعادلة الشهيرة المسماة معادلة هلمولتز : $\Delta U = \Delta F - T\frac{d\Delta F}{dT}$

إن المشتق الذي يظهر في هذه العبارة يجب ان يؤخذ كحجم ثابت . ونشير إلى أن الطاقة الحرة مرتبطة بالطاقة الداخلية ، وان « الانتروبيا » مرتبطة بالعلاقة $\Delta F = \Delta U - T\Delta S$ ، والحرارة والعمل يعبر عنهما بنفس الوحدة .

الانتاليبا Enthalpie والانتاليبا الحرة : عندما يبقى النظام ـ ليس في حجم ثابت ـ بل في ضغط ثابت ، فان العمل الذي يأتيه من الخارج ، عندما يتغير حجمه عن (Δv) ، يعادل ($-p\Delta v$) أو

بشكل آخر Δ (− pv) . وإذا كانت طاقته الداخلية تتراوح بين (ΔU) ، فالحرارة التي يتلقاها هذا النظام تمثل بما يلي : $(\Delta U - \Delta(-pv) = \Delta(U + pv))$

إن الدالة الجديدة الترموديناميكية $(H = u + pv)$ التي تلقت من كامرلين اونس Kamerling Onnes اسم « انتالبيا » (أو المحتوى ـ الحراري) تلعب بالنسبة إلى التغيرات ذات الضغط الثابت ، الدور الذي تلعبه الطاقة الداخلية بالنسبة إلى التحولات ذات الحجم الثابت .

وكذلك الدالة $(G = H - TS)$ تلعب ، بالنسبة إلى هذه التحولات ، نفس الدور الذي تلعبه الطاقة الحرة بالنسبة إلى التحولات ذات الحجم الثابت . وادخلت هذه الوظيفة اساساً ، من قبل جيبس J.W.Gibbs ومن بين الأسماء العديدة التي اعطيت لهذه الوظيفة نختار اسم « انتالبيا حرة » . وخاصتها الأساسية هي أنها ، في كل تحول حقيقي لنظام يحفظ عند درجة حرارة وضغط ثابتين ، نحصل لدينا $\Delta G \leqslant 0$.

هذه الواقعة تدل بشكل خاص على أن كل نظام محفوظ عند درجة حرارة وضغط ثابتين ، يبقى متوازناً عندما تكون « انتالبياه » الحرة دنيا ، وأنه في ما خص النظام الكيميائي المتحرك ضمن ضغط ثابت ، يمكن استخدام $(-\Delta G)$ كتعريف للتآلف الكيميائي . هذه الازدواجية في التعريفات المتاحة $(-\Delta G$ و $-\Delta F)$ بالنسبة إلى التآلف ، قد تبدو مزعجة لأول وهلة ؛ ولكنها تدل ببساطة على أنه لا يمكن الكلام عن التآلف الضمني في نظام ما ، وأنه من الضروري تثبيت وتحديد الظروف الخارجية المفروضة على هذا النظام (حجم أو ضغط ثابتين) وكذلك إن (حرارات التفاعل لا تكون محدّدة إلّا بعد تثبيت هذه الظروف الخارجية بالذات) . نشير اخيراً إلى علاقة اخرى مماثلة لعلاقة هلمولتز $\Delta H = \Delta G - T\frac{d\Delta G}{dT}$

والمشتق يؤخذ هذه المرة من ضغط ثابت . ونشير أخيراً أنه في سنة 1869 ادخل ماسيو Massieu وظيفتين يمكن ان تؤديا نفس الخدمات التي تؤديها (F و G) : حصيلة قسمتها على درجة الحرارة المطلقة .

مبدأ نرنست : إن الوظيفتين الأساسيتين ، الطاقة الداخلية والانتروبيا لا تحددان إلّا بثابتة اضافية تقريبية ، لأن تغيراتها لها اتجاه ترموديناميكي . إن الجمود في الطاقة يتيح تثبيت اساس جذري للانتروبيا . وفتح ف. نرنست (1864 - 1941) في سنة 1906 الطريق في هذا الاتجاه واضعاً كمبدأ أن تغير الانتروبيا في نحول ما هو معدوم عندما يكون هذا التغير جارياً في حالة الصفر المطلق . وعندها أمكن ربط هذا المبدأ باستحالة الوصول بدقة إلى الصفر المطلق ، بواسطة عدد متناهٍ من التغيرات . . . وبعد ذلك بقليل عمم ماكس بلانك Max Planck هذا المبدأ مؤكداً على أن « انتروبيا » الجسم النقي ، مهما كان ، في حالة التوازن مع الصفر المطلق تكون معدومة ، وهذه الصيغة ارتدت كل قيمتها في ضوء الميكانيك الاحصائي .

III - الحرارات الذاتية

ودون التذكير بكل التحسينات المقدمة للقياسات الكالوريمترية ، تتوجب العودة إلى بعض النتائج الحاصلة في هذا المجال ، وبصورة خاصة بشأن قياسات الحرارات الذاتية للأجسام البسيطة

الجامدة ، هذه القياسات التي تحققت سنة 1820 على يد دولون Dulong وبيتي Petit .

إن الأوزان الذرية لم تكن يومها محددةً إلّا بدقةٍ ضعيفة ، أما رموز المركبات التي اعطى تحليلها هذه الأوزان الذرية فلم تكن دائماً موثوقة تماماً .

وقد قاس دولون وبيتي ، بكل دقةٍ ممكنة في ذلك الزمن ، الحرارات الذاتية لأثني عشر معدناً ، ولاحظا أن حاصل ضرب الأعداد الحاصلة بالأوزان الذرية المنسوبة إلى هذه المعادن ، تقسم إلى مجموعتين : خمسة منها حاصلها يقارب الستة ، أما السبعة الباقية فحاصلها اثنا عشر . وظنّا يومئذٍ أنه يمكن ، نظراً لامكانية ضرب الأوزان الذرية بعددٍ بسيط دون المساس بأية قاعدة اساسية في الكيمياء ، يمكن عندها اختيار هذه الأوزان بحيث تكون كل الحواصل المشكلة قريبة بعضها من بعض . فاقترحا عندئذ قسمة الأوزان الذرية في السبعة الأخيرة باثنين . وهذه الأجسام الأخيرة بسيطة هي الرصاص والذهب والقصدير والزنك والتلور Tellure والنيكل والحديد . تلك هي نشأة قانون دولون وبيتي ، ولنا عودة إليه .

هناك أربعة اجسام بسيطة هي الهليوم والبوريك والكربون والسيليسيوم ، يبدو انها لا تخضع لهذا القانون (وحصيلة ضرب حرارتها النوعية بوزنها الذري يقل كثيراً عن 6) ولكن القياسات التي اجراها هـ. ڤيبر (1875) دلت على أن الحرارة الذاتية لهذه الأجسام تتغير مع درجة الحرارة نازعة نحو قيمة قصوى تحقق قانون دولون وبيتي . وتساوقاً مع هذا ، فالقياسات ، عند درجات حرارة منخفضة جداً، والتي قام بها نرنست وتلامذته دلّت ، بالنسبة إلى كل الأجسام أن الحرارة النوعية هي وظيفة متنازلة أي ذات علاقة متنازلة بتنازل درجة الحرارة النازعة نحو الصفر عند الاقتراب من الصفر المطلق . ونذكر أخيراً أن كوب Kopp بيَّن في سنة 1864 تقريباً أن الحرارة الجزيئية (وهي حصيلة ضرب الحرارة النوعية بالكتلة الجزيئية للأجسام المركبة الجامدة) تساوي بشكل محسوس مجموع الحرارات الذرية للأجسام البسيطة التي تركب هذه الأجسام المركبة (وهذه خاصة اضافية) .

IV - الغازات الحقيقية ، وتسييل الغازات

إن قانون بويل ـ ماريوت قد قبل لمدة طويلة ، وفي بداية القرن التاسع عشر فقط دلّت تجارب اكثر دقة قام بها ارستيد Œrstedt وسوينسون Suensson ، واثبتتها تجارب دبرتز Despretz وبوييه Pouillet ، دلت بدون نزاع أن الآنيدريد الكبريتي اكثر قابلية للضغط من الهواء ، ولكن كان لا بد من انتظار رينيو لتقرير أن الهواء بالذات لا ينضغط كما يقول قانون بويل وماريوت . وإذا كان لا بد من البحث في استبدال « معادلة حالة » (pv = RT) ، في الغازات الكاملة بمعادلة اكثر تعقيداً تعطي فكرة اوضح عن الوقائع التجريبية .

معادلة فان در ولز Van der Waals : سبق في سنة 1864 أن اشار آتاناس دوبري Athanase Dupré إلى أنه ، تحت ضغط كبير جداً ، لا يمكن لحجم الغاز أن يتجه نحو الصفر كما يقول قانون بويل ماريوت ، إذ لا يمكن اختزال هذا الحجم إلى قيمة اقل من القيمة التي تعادل تراكم الجزيئات المكونة . وإذا سمينا (b) هذا الحجم الحقيقي للجزيئات، فيجب أن نضع (v − b) بدلاً من (v) .

ولكن بما أنه توجد غازات تخضع بشكل محسوس لقانون (بويل ماريوت) فمن الواجب ، بالتسابق ، ادخال ضغط داخلي (π) يضاف إلى الضغط الخارجي (p) ثم كتابة : $(p + \pi)(v - b) = RT$. وافترض هيرن Hirn أن (π) يجب أن تكون ثابتة . ولكن المعادلة التي تمثل الحالة الحاصلة ، لن تعد مرضية حالها في ذلك كحالة معادلة الغازات الكاملة . وفي سنة 1873 اقترح فان در ولز Waals (1837 - 1923) المعادلة التي تحمل اسمه : $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$

إن الحجم المماثل (b) قد أدخل بعد الاستعانة بالنظرية الحركية للغازات ، مما اتاح تبيين وجوب تمثيله لمربع الحجم الحقيقي للجزيئات وليس هذا الحجم الحقيقي كما قال به دوبري Dupré . اما الضغط الداخلي ($\frac{a}{v^2}$) ، فيدخل كتعميم لأفكار لابلاس حول التوتر السطحي .

وإذا مثلنا بشكل غرافي ، الضغط (p) تبعاً للحجم (v) (دياغرام كلابيرون) Clapeyron ، نلاحظ أن المنحنى له مظهران مختلفان تبعاً لقيمة درجة الحرارة T . وللتثبت من ذلك يمكن البحث عن قيمة v ، عندما نختار بصورة كيفية T و p . إن معادلة فان در ولز Waals يمكن أن تكتب :
$pv^3 - (RT + bp)\, v^2 + av - ab = 0$ ،

ويجب حل معادلة من الدرجة الثالثة

وإذا كانت T كبيرة أي اعلى من $8a/27\,b\,R$ لا يكون للمعادلة سوى جذر وحيد وينزل المنحنى التمثيلي بانتظام مذكّراً بشكل القطع الزائد .أمّا إذا كانت T أصغر من($8\frac{a}{27}bR$)فالمعادلة لها ثلاثة جذور حقيقية . وتكون p كبيرة جداً عندما تكون v صغيرة فتبدأ بالتناقص ، ثم الحضيض ، وتزيد فتنتقل إلى الذروة ، ثم تبدأ من جديد بالتناقص حتى تقارب الصفر عندما تزداد v بشكل لا حدّ له . وإذا كان تعبير فان در ولز لا يختلف كثيراً عن تعبير بويل ماريوت ، بالنسبة إلى القيم الكبيرة لـ v(ويمكنه بالتالي أن يمثل مضغوطية الغاز) فالقسم من المنحني الواقع قبل الحضيض ، والمطابق بالتالي للقيم المتدنية من v، فهو لا يمكن أن يمثل إلاّ مائعاً قليل الانضغاط جداً .

ولكن اندروز بين ان بعض الغازات مثل الآنيدريد كربونيك يمكن أن تنتقل إلى حالة السيولة بمجرد الضغط . والظاهرة هذه تمثل بموجب دياغرام كلابيرون Clapeyron ، بشكل خط افقي ويتوجب إذاً ، برأي فان در ولز قطع المنحنى النظري واستبداله بقسم افقي .

الحالة الدقيقة أو الحالة الحرجة أو الحالة الانتقادية : وكنتيجة لتجارب اندروز، ادخل هذا مفهوم « الحرارة بدرجتها الحساسة » . إذا كان الغاز كربونيك يتسيل بالضغط البسيط تحت درجة 31،3 C° ، فهذا التحول مستحيل فوق هذه الدرجة . وعلى نفس النسق ، وكما بين ذلك اندروز وفان در ولز Waals ، يجب أن تكون هناك استمرارية بين حالة السيولة وحالة الغازية . نأخذ مثلاً الغاز كربونيك بدرجة (20°C) وتحت الضغط الجوي العادي ؛ وبضغط الغاز يمكن تسييله : ونلاحظ وجود « مصطبة تسييل » ، والضغط يكون عندئذٍ 56،3 جوية.وعندما يتسيل الغاز تماماً ، فبالامكان من جديد زيادة الضغط مع قليل من تناقص الحجم ، حتى الوصول مثلاً إلى 60 جوية ، وتكون درجة الحرارة دائماً 20°C . ولكن يمكن رد الغاز كربونيك إلى نفس هذه الحالة النهائية دون ملاحظة وجود مصطبة تسييل . وانطلاقاً من 20°C يمكننا تسخين الغاز تحت ضغط ثابت حتى الدرجة 40°C مثلاً وهي درجة حرارة اعلى من الدرجة الحرارية الحساسة أو الحرجة ، ثم الضغط حتى 60 «جوية» وأخيراً

اعادة التبريد ، تحت الضغط الثابت حتى 20°C : عندها نحصل على نفس السائل دون ملاحظة وجود مرحلتين متميزتين ، وهذا ما يميز ظاهرة التسييل .

إن مفهوم درجة الحرارة الحرجة أو الحساسة يجرنا إلى مفهوم « النقطة الحرجة » . إذ إذا ضغطنا غازاً بدرجة حرارة اخف بقليل من درجة الحرارة الحرجة ، نلاحظ وجود مصطبة تسييل قصيرة جداً . وهذا يعني أنه عند درجة الحرارة الحرجة بالذات ، يجب رد الغاز إلى نقطة ما ثم مطابقة ضغط معين تماماً ، وهو ما يسمى بالضغط الحرج . إن الحجم المطابق هو الحجم الحرجي .

قانون الحالات المطابقة : عندما تكون درجة الحرارة الحرجة T_c محددة تبعاً للمعايير (بارامترات) b, a و R الظاهرة في معادلة فان در ولز $(T_c = 8\,a/27\,b\,R)$ يمكن تحديد الضغط والحجم الحرجين v_c و p_c : $v_c = 3\,b$; $p_c = a/27\,b^2$.

في سنة 1880 خطر لـ فان در ولز أن يستخدم ، بالعكس من ذلك ، المعطيات الحرجة لحساب المعايير البارامترات R,b,a ثم إبدال قيمها في معادلة الحالة . في هذه الحالة لا تستخدم المعادلة المكتوبة إلا النسب : T/Tc , p/p_c و ϑ/ϑ_c والمسماة احداثيات مختصرة .

إذا افترضنا $T/T_c = \theta,\ \ p/p_c = \omega, v/v_c = \varphi$ نحصل على المعادلة الموجزة التي قال بها ڤان در ولز $\left(\overline{\omega} + \frac{3}{\varphi^2}\right)(3\,\varphi - 1) = 8\,\theta$ ؛ هذه المعادلة المختصرة تصح لكل الغازات ويستنتج من ذلك أنه اذا كان هناك غازان ، في حالات متطابقة ، أي إذا كانت درجات الحرارة والضغط كسوراً متساوية من درجات الحرارة ، ومن الضغوطات الحرجة ، فإن أحجامها تكون أيضاً كسوراً تساوي أحجامها الحرجة .

فضلاً عن ذلك يمكن تبيين أن صلاحية هذه النتيجة تتعلق فقط بكون معادلة الحالة تتضمن ثلاثة معايير بارامترات ، ولا تتعلق بالشكل الخاص الذي اختاره ڤان در ولز . ونفهم إذاً أن قانون الحالات المتطابقة يتحقق بصورة أفضل من تحقق معادلة ڤان در ولز كما أثبتت ذلك بشكل خاص أعمال آماغات Amagat . وعلى كل لم يظهر أن معادلة ڤان در ولز كانت مرضية وكافية لتمثيل الأحداث التجريبية ، فاقترح معادلات أخرى كثيرة من بينها معادلة كلوزيوس التي تمتاز ببعض المزايا :

$\left[p + \frac{a}{T\,(v + b)^2}\right](v - \varphi) = RT$ ، حيث b = صفراً في أغلب الأحيان .

الحصول على درجات منخفضة : إن الطرق الأكثر استخداماً منذ القديم ، من أجل خفض درجات الحرارة كانت تقوم على استعمال الخلائط المبردة مثل الثلج والملح ومثل تبخر السوائل الخفيفة مثل الأثير . وإمكانية تسييل الغازات مثل الانيدريوكاربونيك ، والآنيدريد الكبريتي أتاحت توسيع هذه الطريقة الأخيرة ، إنما كان لا بد من إمكانية الحصول على درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة . وتمّ تقدم كبير في الحصول على درجات حرارة منخفضة في سنة 1852 وذلك بفضل اكتشاف جول و . طومسون للمفعول الذي يحمل إسميهما . ويمكن قلب الصيغة ، (صيغة قانون جول) المذكورة سابقاً ، بقولنا بأن التمدد ، ضمن طاقة داخلية ثابتة ، لغاز كامل ، لا يقترن بأي تغير في درجة الحرارة . ولكن الأمر يختلف بالنسبة إلى غاز حقيقي ، ومن الممكن اثبات أن درجة حرارة غاز

تبرد قليلاً اثناء تمدده عند طاقة داخلية ثابتة ، مع خضوعه مثلاً لمعادلة فان درولز أو لمعادلة كلوزيوس .

وتقوم فكرة جول وتومسن على افتعال تمدد الغاز في حالة « انتالبيا enthalpie » ثابتة ، مما يعني اجبار هذا الغاز على القيام بعمل وهو يتمدد ، في حين أن هذا التمدد في الحالة السابقة يتم بدون عمل خارجي . وبالامكان ، في حالة فان در ولز ،تبين وجوب وجود تبريد اهم من التبريد في الحالة السابقة وبالعكس إذا استعملنا معادلة كلوزيوس ، نلاحظ امكانية وجود تبريد مهم ، إذا كانت درجة الحرارة الأساسية منخفضة نوعاً ما ، إنما قد يكون هناك تسخين إذا كانت درجة الحرارة اكثر ارتفاعاً . وبقول آخر هناك درجة حرارة « انقلابية » فوقها لا يمكن تبريد الغاز بالتمديد . ولكن ، وهذا ما حدث في تجارب جول وتومسون بالذات ، إذ ، بالنسبة إلى الآندريد كربونيك في درجة حرارة عادية يعطي التمدد من 2 ألى 1 جوية انخفاضاً في درجة الحرارة يعادل 0.26C° ، في حين انه بالنسبة إلى الهيدروجين ، يحدث هذا التمدد تسخيناً ضعيفاً . هذه التجارب ، وكذلك معادلة كلوزيوس تدل على ان خفض الحرارة المرتقب يكون اكبر كلما كانت درجة الحرارة الأساسية اكثر انخفاضاً .

وبالارتكاز إلى مفعول جول تومسون ، تم بنجاح ، بخلال القرن التاسع عشر ، اقامة صناعة كاملة تبريدية محكومة باسماء ليند Linde وجورج كلود Georges Claude . اما المراحل المهمة في التقدم في هذا المجال فهي تسييل الأوكسجين والآزوت والغازات المسماة « الدائمة » ، وفي سنة 1883 برزت اسماء روبليسكي وأولزيسكي في تسييل الهدروجين ، الذي تحقق لأول مرة بكميات مهمة على يد جامس ديوار Dewar سنة 1898 ، واخيراً ، سنة 1908 تسييل كامرلين اونس . وآخر الغازات الدائمة سُيِّل ، وتمَّ غليانه تحت ضغط منخفض مما اتاح الحصول على : 0,7K° .

ونرى في المجلد التالي انه قد امكن تحقيق درجات حرارة اقرب إلى الصفر وذلك باستعمال نزع المغنطة اديابيتياً [أي بدرجة حرارة ثابتة]وذلك في المواد متوازية المغناطيسية .

V - المحاليل

إن ظاهرة التذويب معروفة منذ القدم ؛ وكذلك الحال بوجود حالة اشباع ، ومن هنا ينتج حالاً مفهوم معامل الذوبان . إن تحديد هذه المعاملات ، كان موضوع العديد من الأعمال . ولكن هذه القياسات وكذلك تثبيت بعض نتائج مبادىء الترموديناميك ، بشأنها ، قلما يكون له جدوى من حيث النظر إلى تطور الأفكار .

قوانين الامتصاص (الاوسموز) : وبالمقابل بدت دراسة المذوبات الموسعة ذات اهمية قوية والحدث الكبير الأول كان اثبات ظاهرة الاوسموز [الامتصاص] من قبل ديتروشي Dutrochet سنة 1827 من اجل هذا ملأ ديتروشي بالماء المالح مثانة خنزير محيطة على انبوب من الزجاج . وعند تغطيس هذه المثانة في الماء النقي ، وكان الأنبوب مدعماً بشكل عامودي ، شوهد السائل يرتفع فجأة في الأنبوب ، حتى الطفح احياناً مما يدل على أن الماء قد خرق المثانة ـ وهذا ليس بأمر عجيب ـ ولكن قوانين الهيدروستاتيك لم تطبق . ولوحظ وجود فرق في المستوى ، بين ماء الأنبوب والماء الكائن في الخارج .

إن هـذه التجربـة بعـد تغييـرهـا بشكـل مـلائم ولـدت التحـالّ (dialyse) المـطبق من قبـل دوبرونفوت Dubrunfaut في الصناعة السكرية (1854). وفي سنة 1877 لاحظ بفيفر Pfeffer أن الخلية النباتية الفتية تنتفخ في الماء النقي وتتقلص في الماء الشديد الملوحة. ولما كان البروتوبلاسم يبقى داخل الخلية، فإن العملية تقتصر على اجتياز الغشاء الخلوي بالماء في الاتجاهين: وهذا الغشـاء يشكل غشاوة نصف شفافة. وحقق بفيفر pfeffer ايجاد اغشية نصف نفاذة اصطناعياً وذلك بترسيب مادة سيـانور الحديد النحاسي داخل غشاء مسامي، وكرر بواسطة هذه الأغشية تجربـة ديتروشي. ولاحظ وجـود توازن حقيقي، واستطاع قياس اختلاف المسـتوى بدقـة، بين السـائل الـذي يعلو اناء بفيفـر والماء الخارجي بالنسبة إلى هذا الوعاء: كما قاس تفاوت المسـتوى الضـغط الامتصاصي.

إن نتـائج القيـاسات في الضغط الامتصـاصي قد لخصت في سنـة 1884 من قبل فـانت هـوف (1852 - 1911) في القانونين التاليين:

1 - ان الضغط الامتصاصي يتناسب مع التركيز إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة.

2 - يتناسب الضغط الامتصاصي مع درجة الحرارة المطلقة إذا بقي التركيز ثابتاً.

وتركيز ذوبٍ ما يتناسب عكسياً مع حجم الذوب المحتوي على كتلة معينة من الجسم المذوب. ويتبين بسهولة أن هذين القانونين هما مثيلا قانون بويل ـ ماريوت وقانون غي لوساك. وبقول آخر إذا رمزنا بـ ϖ إلى الضغط الامتصاصي وبـ (ϑ) إلى حجم الـذوب المحتوي عـلى كمية معينـة من الجسم المـذوب وبـ (T) إلى درجة الحـرارة المطلقـة وبـ (K) إلى الثابتـة، تتحصـل لـدينا المعـادلـة التـاليـة: $\varpi\,\vartheta = kT$ التي تشبه معادلة حالة الغازات الكاملة مشابهة جلية.

وفي سنة 1883 بين هـ. دي فري Vries أنه، في درجة حرارة واحدة، تكون الأذواب التي يمكن تغطيس خلية نباتية فيها، دون أن تنتـفـخ أو تتقلص (مما يثبت أن الضغط الامتصاصي يكون واحداً داخل الخلية وخارجها)، ذات تركيز خلوي واحد (ايزوتـونيك).

هذه الملاحظة اتاحت لفانت هوف ان يجتاز خطوة جديدة. ففكر في سنة 1885 بان الثابتة K في المعادلة السابقة يجب أن تكون هي ذاتها بالنسبة إلى كل المحاليل، شرط أن يكون الحجم (v) هو حجم مذيب يتضمن خلية في كل غرام من الجسم المذاب. واتاح له التحليل كترموديناميكـي أن يبين أن الأمر يجب ان يكون هكذا، إذا كان الجسـم المذوب غازاً يخضع لقانون هنري (أي بحيث يكون تركيز الذوب متناسباً مع ضغط الغاز المتوازن مع هذا التركيز) وأن تكون الثابتة معادلة لثابتة الغازات الكاملة (R). ولخص كل هذا بقوله أن الأذواب يجب أن تخضع ليس فقط لقوانين بـويل ـ ماريوت وغي لوساك بل وايضاً لقانون أفـوغادرو Avogadro. وقياسات الضغوطات الامتصاصية (اوسموتيك) تتيـح إذاً الوصول إلى الأوزان الجـزيئية كما إلى قياسات الثقل النوعي للبخار.

قوانين راوولت: سبق أن بين بلاغدن Blagden في سنة 1788 أن الذوب المائي الخفيف يتجمد بدرجة حرارة تحت صفر درجة مئوية (درجة حرارة تجميد الماء النقي) وأن انخفاض نقـطة التجمد تتناسب تماماً مع تركيز الذوب. وقد درس العديد من المجربين هذه المسألة ثم، في سنة 1871، 1872 بين كوبت ان ما يسمى «انخفاضاً ذرياً» الحاصل من ضرب الوزن الجـزيئي للملح المذاب بالخفض

الناتج عن تذويب غرام واحد من الملح في مئة غرام ماء ، هو ذاته تماماً بالنسبة إلى عدة املاح من ذات النوع ومن ذات التركيب .

وقد أوضح فرانسوا ماري راوولت Raoult (1830 - 1901) ـ وهو يجرب ابتداءً من سنة 1870 ـ المسألة تماماً .وقد لخّص عدداً كبيراً من القياسات بالشكل التالي (1882 - 1883) :

نفترض أن (P) هي وزن مادة الآنيدر المذاب في مئة غرام من المذوب وان (C) هي انخفاض نقطة التجمد الملائمة . ان الحصيلة C/P ، ويسميها « معامل الخفض غير الصافي في المادة المذوبة » تمثل ـ إذا كان قانون بلاغدين Blagden قابلاً للتطبيق ـ خفض نقطة التجمد المحدثة في غرام واحد من المادة داخل مئة غرام من المذيب ، وان حصيلتها مضروبة بالوزن الجزيئي (M) يعطي « الخفض الجزيئي الحقيقي » (t) . وإذا لم يخضع الجسم لقانون بلاغدين ، يتم الحصول على هذا الخفض الجزيئي الحقيقي برسم منحنى M ضرب C/P بحسب P بعد تكثيف النتائج حتى تصبح P =0 . يكفي على العموم أن يكون الذوب خفيفاً حتى تصبح C قريبة من درجة مئوية واحدة ، بحيث يمكن كتابة المعادلة : $t = \frac{C}{P} \times M$.

ويعلن القانون ان الخفض الجزيئي رهن بالمذيب ، إنما بالنسبة إلى مذيب معين ، يبقى هذا الخفض هو نفسه في مجموعات من المركبات العديدة والمحددة تماماً . وقيم هذا الخفض محددة تحديداً كافياً الأمر الذي حمل راوولت على اقتراح تطبيق هذا القانون في تحديد الأوزان الذرية ، بطريقة استعملت في شكل واسع تحت اسم كريوسكوبي أو كريومتري أي الفحص القرّي .

في مذكرته لسنة 1885 حول الضغط الامتصاصي الاوسموتيكي ، حسب فانت هوف بواسطة التحليل الترموديناميكي ، الخفض الجزيئي (t) عند راوولت: $t = 0{,}019\,76T^2/W$. حيث تمثل T درجة الحرارة المطلقة لتجمد المذيب النقي و(W) الحرارة الكامنة للمذيب مقدرة بالكالوريات في الكيلوغرام . إن التناسب مع الأرقام التي عثر عليها راوولت بدا ملحوظاً عندما نأخذ كمذيب الماء والأسيد أسيتيك ، والآسيد فورميك ، وا لبنزين ، والنيترو بنزين ، وهي اجسام تُعرف فيها : t، و T و W . أما البيبرومور الاثيليني (من اتيلين) غير المعروفة حرارته الكامنة عند الذوبان ، ومع افتراض صحة العلاقة السابقة ، قدّر راوولت هذه الحرارة الكامنة W بـ 13,2 كالوري . وكان التثبت التجريبي ، الذي قام به الكيميائي السويدي بيترسون بالغ الدلالة : أعطت التجارب الثلاث : 13,05 ؛ 12,88 ؛ 12,89 .

وبعد سنة 1886 ، وبالنظر إلى مسألة الفحص القرّي الموضحة بما فيه الكفاية عالج راوولت ما دعي ، سنداً لاقتراح رينيو، نقطة الإنطلاق في بحوثه حول الأذواب ، أي معرفة ضغوطاتها في حالة البخار. وقد استعمل بحسب الحالات، طريقتين سمّاهما ستاتيك وديناميك . وتقوم الأولى على قياس فعلي لضغوطات بخار الأذواب . والثانية قياس ارتفاع نقطة الذوبان في هذه الأذواب . وهما الطريقتان اللتان نسميها الآن « تونومتري » Tonométrie (وهو تعبير وحيد اعتمده راوولت في الحالتين) ثم « ابيلوسكوبي » ébullioscopie [أو تسجيل درجة الغليان] . وبين راوولت Raoult الرابط النظري الوثيق جداً بين الطريقتين ، وقرر بنفس العناية

القوانين التي تحمل اسمه. فبالنسبة إلى ابيلوسكوبي، يوجد ايضاً ارتفاع جزيئي محدد جداً تقدمه ايضاً الصيغة التي وضعها فانت هوف، شرط أن تؤخذ (T) كدرجة الحرارة المطلقة عند الغليان، وأن يؤخذ (W) بمثابة الحرارة الكامنة في حالة تبخر. وبالنسبة إلى التونومتري، بين أن الخفض «النسبي» في ضغط البخار (أي حاصل قسمة الخفض بالذات على ضغط بخار الذوب النقي) يعادل حاصل قسمة عدد الجزيئات في الجسم المذاب بالعدد الاجمالي للجزيئات، سواء بالنسبة إلى المذيب أو الجسم المذاب. واقترح راوولت استعمال هذه القوانين من اجل تحديد الأوزان الجزيئية.

VI - التوصيل الحراري

عندما يكون قضيب معدني ذو مقطع (S) غير ذي حرارة موحدة، فدرجة الحرارة (T) في نقطة ما منه هي دالة مستمرة (بالمعنى الرياضي للسيني x مقاساً على طول القضيب، ويفترض بسهولة أن هذه الدالة يجب أن تقبل مشتقاً (derivée) dT/dx. وهذا المشتق، إذا تغيرت اشارته هو ما يسمى بالممال [أي فرق الضغط الجوي الحاصل بين نقطة معينة ومحور الاعصار، أو تبدل الجهد بين نقطتين] في درجة الحرارة. . ومن جهة اخرى تكون الحرارة المنقولة عبر القضيب من الطرف الأكثر حرارة نحو الطرف الأكثر برودة أي بالاتجاه الذي تكون فيه dT/dx سلبية أي يكون الممال فيه ايجابياً. وإذا لم تتغير درجة الحرارة بسرعة كبيرة يمكن القول أن الحرارة التي تجتاز مقطعاً معيناً من القضيب (سطحه S) بخلال وقت قصير جداً dT متناسبة مع (S)، ومع الممال لدرجة الحرارة ومع dt. إن العامل التناسبي هو الطاقة التوصيلية الحرارية (أو الكالوريفيك).

وعلى هذا القانون وضع ج.ب. بيوت في سنة 1804، ثم بشكل نهائي فوريه، سنة 1807 و 1811 قانون التوصيل الحراري. والأمر يتعلق هنا بنظرية شكلية خالصة، تكون مهمة بشكل خاص من ناحية التحليل الرياضي، ولو بادخال سلسلة فوريه ومتكاملة فوريه اللتين لعبتا دوراً رئيسياً في نظرية كل الظاهرات التأرجحية.

في سنة 1853 تحدد الرابط الموجود بين التوصيل الحراري والتوصيل الكهربائي، بقانون ويدمان وفرانز هذا القانون الذي يؤكد أن التوصيلين هما على علاقة ثابتة: فالأجسام الحسنة التوصيل للكهرباء هي أيضا الأجسام الحسنة التوصيل للحرارة.

وتأويل هذا القانون لم يكن ممكناً إلا على اساس نظرية الألكترونات. ونقول باختصار إذا قبلنا بوجود الكترونات حرة تقريباً داخل معدنٍ ما فإن التوصيل الكهربائي ينتج عن نقل شحنتها، وإن التوصيل الحراري ينتج عن نقل طاقتها الحركية ويدل الحساب عندئذٍ على وجوب وجود علاقة ثابتة بين التوصيليتين (تتناسب مع درجة الحرارة المطلقة) على الأقل عند التقريب الأول. والواقع أن هذه العلاقة يجب أن تتعلق، بشكل معقد، «بالمسار الحر الوسطي» للالكترونات، وهذا المسار لا نعرف عنه شيئاً كثيراً.

VII - الطاقة المشعة

إن التأملات الأولى فيما يتعلق بوجود اشعاع حراري تعود إلى شيل Scheele وبيكتت Pictet،

ولكن بريفوست Prévost هو الذي اصدر سنة 1791 الفكرة الخصبة بأن كل جسم يشع الطاقة بشكل مستقل عن محيطه ، وبالضبط كما لو أن هذا المحيط غير موجود . وعندما يبدو مطلق جسم مشعاً ، فذلك لأنه يعطي اكثر مما يأخذ ، وعندما يبدو في حالة توازن مع الوسط الخارجي فذلك يعني أنه يشع من الطاقة بمقدار ما يأخذ . وهذا يعني ابدال مفهوم ستاتيكي للتوازن بمفهوم ديناميكي . ويصبح من الممكن معالجة جسم يمتص الاشعاع ، كالجسم الذي يبث البرد ، مما يوحي بوجود علاقة وثيقة بين بث الاشعاع وامتصاصه .

وفي سنة 1801 بدىء بوعي وحدة الطيف ، أي ملاحظة أن الاشعاع الحراري لا يتميز عن الاشعاع المرئي . وبهذا التاريخ استطاع و. هرشل وهو ينقل ترمومتراً داخل الطيف المرئي ، وابعد من الأحمر ، فاكتشف ما يسمى « تحت الأحمر » ، والذي يجب أن يتماهى مع الاشعاع الحراري المعتبر سابقاً . وفي سنة 1803 بين سوسور Saussure وبيكتت أن هذه الأشعة الغامضة تنعكس وتنكسر مثل الضوء المرئي . وابتداءً من ذلك الوقت فإن دراسة الاشعاع الحراري لم تعد إلا دراسة الخصائص الحرارية للاشعاع عموماً ، هذه الدراسة التي اصبحت فرعاً من علم البصريات واصبحت تستفيد من كل التقدم الحاصل في هذا العلم .

قانون كيرشوف Kirchhoff : في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، عندما حقق علم البصريات والترموديناميك تقدماً ضخماً ، اصبح من الطبيعي مزج المعارف التي حققها كلٌ من هذين العلمين ، في المجال المشترك بينهما ، أي دراسة الاشعاع الحراري . وقد تبين ان هذا التلاحم مثمر بشكل عجيب ، إذ في النهاية هو الذي حقق اكتشاف الكانتا . كل هذه الدراسات كانت محكومة باسم « **كيرشهوف** » الذي وضع موضع التنفيذ وبصورة منهجية سنة 1859 ، افكار بريفوست ، المار ذكرها . وهذا هو مبدأ تبيانه :

إذا تلقت صفيحة صغيرة من مادة ما شعاعاً ضوئياً ذا اتجاه معين ، وذا زخم (I) وإذا رمزنا بحرف (a) إلى القوة الماصة في هذا الجسم (وهذا يعني أنه يمتص ، بخلال كل ثانية ، الطاقة aI) ؛ وإذا ارسلت هذه الصحيفة ، بخلال ثانية أيضاً ، وبالاتجاه المعاكس اشعاعاً زخمه (I′) ، يتوجب علينا أن نكتب شرط التوازن كما يلي $I' = aI$ أو أيضاً $\frac{I'}{a} = I$.

ونستبدل الصحيفة السابقة بصحيفة اخرى ، من ذات الحجم ، ونضعها بنفس الموضع إنما من مادة مختلفة . ونفترض أن a_1 و I'_1 يمثلان القدرة الماصة والزخم المنبثق عن هذه الصفيحة الجديدة ؛ فيكون لدينا ايضاً $I'_1 / a_1 = I$.

و I هي ذاتها في الحالين لأنها الزخم النازل . ونستنتج من ذلك أن النسبة I'/a يجب أن تكون مستقلة عن طبيعة الصفيحة المنظورة . ويمكننا بكل تأكيد استبدال I' بحاصل قسمتها على مساحة الصفيحة ، أي الطاقة المبثوثة على وحدة المساحة .

وهكذا نصل إلى هذه النتيجة المهمة وهي ان حاصل قسمة « القدرة الارسالية » على القدرة الماصة لا تتعلق بطبيعة الجسم المرسِل .

المتلقي المتكامل أو الجسم الأسود : هذا الاكتشاف اعطى اهمية خاصة لكل جسم تكون قدرته

الماصة (a) ، بالنسبة إلى كل طول موجة ، وكل اتجاه وفي اي درجة حرارة ،مساوية للوحدة . إن مثل هذا الجسم هو الذي يطلق عليه اسم الجسم الأسود أو المتلقي الكامل . وأشار كيرشوف بأن اشعاع الجسم الأسود يجب ان يكون الاشعاع الذي يحصل عفوياً في كل جوف فارغ مغلق وغير مسرب للاشعاع محفوظاً بدرجة حرارة ثابتة . وقارن كيرشهوف اشعاع جسمين اسودين (بنفس درجة الحرارة) يشعان احدهما تجاه الآخر ، فبين عندئذٍ أن زخم الاشعاع الصادر في اتجاه معين يجب أن يكون مساوياً لحاصل ضرب الزخم الصادر عادة عن جيب تمام (cosinus)الزاوية المتكونة من العامودي ومن اتجاه الاشعاع : أنه « قانون جيب التمام» المستخرج سنة 1760 من قبل لامبير حول القياسات التجريبية . وتقرر مذكرة كيرشهوف ان قانون لامبير هذا لا يصلح بكل دقة إلا بالنسبة إلى الجسم الأسود .

وأخيراً بين انه إذا وضع الجسم الأسود ، لا في الفراغ بل في وسط ذي درجة انكسارية (n) ، فإن قدرته البثّية تضرب بـ (n^2) .

انعكاس الأشعة : وهناك نتيجة بارزة نوعاً ما صدرت عن قانون كيرشهوف وقوامها ان مطلق جسم يبث بصورة فضل الضوء الذي له فيه قوة امتصاصية قصوى ، أي الضوء الذي من شأنه امتصاصه .

نحن نعلم انه إذا ادخلنا قليلاً من كلورور السوديوم ،مثلاً ، في لهب حرّاق بونسن Bunsen ، يصبح اللهب أصفر ثم بعد تفحصه في السبكتروسكوب يعطي شعاعاً اصفر براقاً نوعاً ما . ونجد هنا إذاً ضوءاً يستطيع بخار الكلورور السوديوم ان يبثه ، وسنداً لقانون كيرشهوف ، فانه يستطيع امتصاصه ، وامتصاصه بقوة . وإذاً فلنمرر ضوءاً ابيض قوي الزخم عبر هذا اللهب . وفي ما خص اطوال الموجة المجاورة يكون الامتصاص غير ذي قيمة ، أما فيما خص الشعاع المميز بالذات فالامتصاص يكون شبه كامل . ويكون بالتأكيد الضوء المبثوث باللهب بالذات ولكن زخمه قد يكون اصغر بكثير من الزخم المُمتَص ، والشعاع المقصود يبدو قاتماً فوق عمق منير .

هذه الظاهرة المسماة « **انقلاب الاشعة** » والمكتشفة من قبل كيرشهوف بالتعاون مع بونسن قد فسرت هكذا تماماً . وبذات الوقت فسرت ايضاً الواقعة التي رصدها فرونهوفر Fraunhofer سنة 1817 ، ومفادها ان الخطوط القاتمة في الطيف الشمسي تتوافق مع خطوط البث في الغازات والأبخرة المعروفة تماماً . فتح هذا الاكتشاف السبيل الجديد امام علم الفلك الفيزيائي .

وظهر مفهوم الجسم الأسود ، لمدة طويلة وكأنه مجرد رؤية في الفكر . وفي سنة 1895 فقط تخيل لومر Lummer ووين Wien أن يثقبا فتحة صغيرة جداً في تجويف مغلق محفوظ في درجة حرارة ثابتة . وبعدها امكن اخذ قياسات دقيقة لاشعاع الجسم الأسود .

قانون ستيفان Stefan : في سنة 1879 فسر ج. ستيفن (1835 - 1893) القياسات التي قام بها فيزيائيون آخرون ووضع القانون الذي يحمل اسمه (مقروناً في اغلب الأحيان باسم بولتزمان Boltezmann)وبموجبه تتناسب الطاقة الشاملة المبثوثة من قبل جسم أسود في ثانية من الزمن مع المثقل الرابع لدرجة الحرارة المطلقة لهذا الجسم .

وطبق بارتولي مبادىء الترموديناميك على الاشعاع الأسود ، وبين عندئذٍ وجوب وجود « ضغط اشعاعي او بثي » وأن قانون ستيفان يقضي بأن يكون هذا الضغط ، بالنسبة إلى اشعاع مبثوث بكامله ، أي متضمّن موجات بكل الاتجاهات ، مساوياً لثلث الثقل النوعي أو كثافة طاقة هذا الاشعاع . ويمكن اختصار التحليل النوعي الذي قال به بارتولي بما يلي :

نحبس ، في جسم مضخة حجمها (v)، شعاعاً أسود طاقته الكاملة (ωϑ)، إذا كانت (ω) هي الكثافة في الطاقة ، أي كثافة تتزايد بتزايد درجة الحرارة (أي بنسبة T^4 سنداً لقانون ستيفان) . وإذا نقصنا الحجم بواسطة بستون عاكس ، عندها يجب أن تزداد درجة الحرارة ، وإذا وضعنا جسم المضخة على اتصال مع تجويف درجة حرارته اعلى من الدرجة الحرارية الأصلية ، إنما الأقل من درجة حرارة المضخة النهائية ، عندها يجب أن تنتقل الطاقة إلى هذا التجويف الجديد وعندها يصبح من الممكن تمرير الحرارة من جسم بارد إلى جسم حار ، مما يخرق قانون كارنوت . إذن يتوجب ، من اجل اعادة الانسجام ، تقديم أو بذل جهد من اجل انقاص الحجم ، أي يتوجب التغلب على الضغط المحدث من الاشعاع فوق الضاغط « البستون » Piston .

ولكن مكسويل ، بالضبط ، سنة 1873، بين ان النظرية الكهرمغناطيسية حول الضوء تنص على وجود مثل هذا الضغط . ومن السهل نوعا ما فهم منشئه .

وبالواقع ، تتشكل موجة كهرمغناطيسية من مجمل الحقلين ، واحد كهربائي والثاني مغناطيسي ، بشكل مستطيلين عاموديين على اتجاه الانتشار (اعتراضية الموجات). نتصور أن مثل هذه الموجة تسقط عامودياً فوق لوحة عامودية مثلاً . وتتحرك الالكترونات التي تؤمن التوصيلية الكهربائية في المعدن ، بفضل الحقل الكهربائي ، وتصبح هذه الالكترونات معادلة لتيار يكون اتجاهه نفس اتجاه الحقل الكهربائي . ولما كان هذا التيار خاضعاً للحقل المغناطيسي الذي تحققه الموجة ، عندئذٍ ينتج عن قوانين الكهرديناميكية أن يخضع هذا التيار ، وإذاً اللوحة المعدنية ، لقوة اتجاهها ، المرسوم بموجب قاعدة الاصابع الثلاثة ، هو اتجاه انتشار الضوء النازل . ولما كانت هذه القوة تتناسب بالتأكيد مع السطح المضاء ، فإنها تعادل ضغطاً ما

ودل الحساب الذي اجراه مكسويل ، أن هذا الضغط يساوي ، في حاله الموجة العامودية على اللوحة ، ، زخم الطاقة المشعة . وفي حالة الموجة التماسية ، يكون الضغط معدوماً وفي حالة الاشعاع الكامل البث يكون الضغط مساوياً لثلث زخم الطاقة .

في هذه الأثناء استعمل ل. بولتزمان (1844 - 1906) هذه النتيجة وطبق أيضاً مبادىء الترموديناميك ، فبين في سنة 1884 ، أنه ينتج عن ذلك بالضرورة قانون ستيفان ، وان هذا القانون لا يمكن أن يطبق بدقة إلا على الاشعاع الأسود .

قانون وين Wien : اهتم قانون ستيفان بالطاقة الشاملة للاشعاع الأسود . وقد كان من المتعين البحث عن كيفية توزع هذه الطاقة بين مختلف اطوال الموجات ، أي البحث عن كثافة الطاقة المعزوة إلى مجمل التوترات القريبة من قيمة معينة (v) تمتد فوق مسافة δv ، وهي كثافة تتمثل بالعبارة

$u_\nu \delta\nu$ وفي سنة 1893 حصل ويلهالم وين (1864 - 1928) على نتائج ذات قيمة عالية ، عندما دمج مع مبادىء الترموديناميك مبدأ دوبلر المطبق على ضغط الاشعاع الأسود .

وأدت بحوثه الصعبة التتبع نوعاً ما إلى النتيجة التالية : $u_\nu = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right)$

وفيها تمثل $f\left(\frac{\nu}{T}\right)$ دالة شاملة لحاصل القسمة $\frac{\nu}{T}$.

من السهل رؤية ان هذه المعادلة تقتضي تطبيق قانون ستيفان . ومن جهة اخرى بينت هذه المعادلة أنه يكفي التعرف على المنحنى الذي يمثل (u_ν) ، تبعاً لـ (ν) ، في درجة حرارية واحدة ، من اجل امكانية رسم المنحني المتناسب مع درجة حرارة اخرى كيفية . ولما كانت التجربة قد بينت أن المنحني المبحوث عنه يمثل ذروة بالنسبة إلى توتر ν_m (وهو متغير مع T) فنستنتج من ذلك أن : ν_m/T = ثابتة مما يكون قانون التنقل الذي قال به وين .

ولكن الآن تم استنفاد كل ما يمكن الترموديناميك ان يعطيه . ومن اجل تحديد الشكل التحليلي للدالة f ، يتوجب التوجه إلى اعتبارات اخرى .

تطبيق مبدأ التوزيع المتعادل للطاقة : بين ج. جينس J. Jeans - وهو يدرس، من ناحية النظرية الكهرمغناطيسية للضوء ، نظام الموجات المتوقفة ، هذا النظام الذي يتوجد ، نتيجة التشابكات ، في عرصة متوازية السطوح ذات جوانب عاكسة تماماً ـ ، بأن المعادلات يمكن ان توضع بشكل يشبه الشكل الذي يمثل ، في الميكانيك ، مجمل عدد غير محدد من الرقاصات الهرمونيكية . وعدد هذه الرقاصات ذات الوتيرة القريبة من ν إلى $\delta\nu$ تقريباً ، يعادل هنا $\frac{8\pi\nu^2}{c^3} v\,\delta\nu$ حيث c هي سرعة الضوء و v هي حجم العرصة .

وفكر لورد رايلي (1842 - 1919) عندئذ في تطبيق استدلال الميكانيك الاحصائي . وبشكل خاص يجب ان يتوفر لكل رقاص ، بصورة وسطية الطاقة kT (مبدأ تعادل توزيع الطاقة) حيث ينتج قانون التوزيع الطيفي المعروف باسم قانون رايلي ـ جينس : $u_\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}$

حيث تمثل k ثابتة بولتزمان ، المعادلة لحاصل قسمة ثابتة الغازات على عدد أفوغادور . وهذا القانون يتخذ الشكل المطلوب في معادلة وين العامة . وللتثبت من ذلك يكفي وضع :

$$f\left(\frac{\nu}{T}\right) = \frac{8\pi k}{c^3}\frac{T}{\nu}$$

ويبدو في الحال أن الصيغة المعثور عليها لا يمكن أن تكون دقيقة لأنها تؤدي إلى اعطاء الاشعاع الأسود طاقة شاملة وغير محدودة ! ولكن هذه الصيغة تعطي نتائج تتوافق مع التجربة بالنسبة إلى التوترات الخفيفة (تحت الأحمر البعيد)

واقترح وين سنة 1896 وبلانك Planck بعد ذلك بقليل ، تعبيراً عن وجود ذروة في طيف الجسم الأسود ، اقترحا بالنسبة إلى $f(\nu/T)$ وظيفة اسية متنازلة فاقترحا المعادلة التالية : $u_\nu = C_1 \nu^3 e^{-C_2\frac{\nu}{T}}$ باعتبار C_1 و C_2 ثابتتين يمكن تحديدهما بواسطة ثوابت قانون ستيفان وقانون وين حول التنقل .

وبدت هذه المعادلة في بادىء الأمر مرضية . ولكن في سنة 1899 اثبت لومر Lummer وبرنغشيم Pringsheim وجود تناقضات اكيدة مع التجربة . وبذات الوقت بين كورلبوم Kurlbaum

وروبانس Rubens عدم تطبيق القانون الاسي ، ليس فقط على الأطوال الكبيرة جداً في الموجات ، بل ايضاً ان قانون رايلي ـ جينس يطبق بدقة اكبر عليها .

ولادة نظرية الكانتا : في هذا الوقت فكر بلانك بخاطرة عبقرية ان الطاقة في رقاص لا يمكن أن يكون لها مطلق قيمة ، كما يفترض ذلك ضمناً استعمال مبدأ التوزيع التعادلي للطاقة ، ولكنها لا يمكن ان تكون (هذه القيمة) إلا مضاعفاً صحيحاً من مقدار اولي (ϵ) أو كانتوم من الطاقة . وهذا حمله إلى التوصل إلى طاقة وسطى كانت ، بدلاً من kT ، على الشكل التالي : $\dfrac{\epsilon}{e^{\frac{\epsilon}{kT}} - 1}$

وهي تعبير يُردّ إلى kT عندما تكون (ϵ) صغيرة جداً . ونتيجة لذلك يجب أن يكون قانون التوزيع الطيفي كما يلي $u_\nu = \dfrac{8\pi\nu^2}{c^3} \dfrac{\epsilon}{e^{\frac{\epsilon}{kT}} - 1}$ ومن اجل الانسجام مع قانون وين يتوجب وضع $\epsilon = h\nu$ حيث h تساوي ثابتة جديدة شاملة .

وهذا العمل المهم جداً قدم في 14 كانون الأول سنة 1900 امام الجمعية الألمانية للفيزياء . إن الثابتتين h و k الظاهرتين في هذه المعادلة يمكن تحديدهما بواسطة ثوابت ستيفان ووين . ولكن الثابتة (k) المنسوبة إلى بولتزمان Boltzmann تعادل حاصل قسمة ثابتة الغازات الكاملة على عدد أفوغادرو، حيث يستخرج وسيلة غير متوقعة من اجل تحديد هذا العدد : وكانت النتيجة متجانسة تماماً مع حصائل قدمتها طرق اخرى مرتكزة على اعتبارات مختلفة تماماً .

VIII - النظرية الحركية والميكانيك الاحصائي

عدا عن المحاولة التي قام بها دانيال برنولي والتي سبقت الاشارة إليها (المجلد الثاني) ، ظل مفهوم « الذرة » غريباً عن الفيزياء لمدة طويلة . والكيمياء هي التي وضعت المفاهيم الحديثة للذرة والجزيء، المفاهيم التي اخذتها الفيزياء فيما بعد .

وحوالي 1850 فقط ، عندما ثبت حفظ الطاقة تماماً ، شرع بالتفكير في ان الحرارة ليست إلا مظهراً ، في سُلّمنا ، من مظاهر الاضطراب الجزيئي (راجع ايضاً حول هذا الموضوع دراسة ج . دارموا Darmois، القسم 1، الفصل 3) وادت تجارب غي لوساك وجول، التي سبق أن أشرنا إليها، والدالة على ان الطاقة الداخلية في الغازات الكاملة لا تتعلق بالحجم ، إلى الافتراض بان القوى بين الجزيئات يجب ان تكون ضعيفة جداً عندما يتعلق الأمر بالغازات .

وقد اجبر هذا كلوزيوس بشكل خاص ، سنة 1857 ، إلى الافتراض ان الجزيئات الغازية، بين صدمتين ، تتحرك بحركة منسجمة ومستقيمة . واتاح تفسير قوانين بويل ـ ماريوت ، وغي لوساك عندئذٍ حساب سرعة هذه الجزيئات، سرعة افترضت واحدة بالنسبة إلى كل الجزيئات . فبالنسبة إلى الهدروجين في درجة حرارة عادية ، وجدت سرعة من عيار 2000 كلم / ث، وهي قيمة بدت ضخمة ولا تتناسب مع بطء انتشار الغازات بعضها في بعض ومع ضعف توصيلها الحراري . ولكن في سنة 1858 شرح كلوزيوس ، أنه ، بسبب الصدمات العديدة جداً فيما بين الجزيئات ، فإن مداها ، المكون من خطوط مستقيمة ، يكون معقداً جداً ، وانها ، رغم ان سرعتها كبيرة ، فإن المسافة بين نقطتين مشغولتين بنفس الجزيء، على مسافة ثانية ، يمكن ان تكون صغيرة جداً : وان العنصر الأساسي ـ في

ظاهرات الانتشار ، مثلاً ـ هو المسافة بين صدمتين ، « المسار الحر الوسطي » . في سنة 1859 نجح مكسويل في التعبير عددياً عن « لدونة الغازات » تبعاً لهذا المسار الحر الوسطي . وفي نفس العمل تحرر من فرضيةٍ تعطي نفس السرعة إلى كل الجزيئات مع صياغة قانونٍ « حول توزيع السرعات » . وبموجب هذا القانون يتناسب عدد الجزيئات ذات السرعة التي تعادل مكوناتها: $\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$ بفارق $d\vartheta_x, d\vartheta_y, d\vartheta_z$

مع ما يلي : $e^{-\mu(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} dv_x \, dv_y \, dv_z$

باعتبار ان μ تساوي ثابتة تتعلق بطبيعة الجزيئات وبدرجة الحرارة .

ورغم انه حسن في هذا القانون فيما بعد ، إلا أن برهان مكسويل لم يكن مرضياً . وفي سنة 1868 برهن بولتزمان بصورة صحيحة هذا القانون فبين أن المثقل يجب ان يؤخذ مساوياً لـ $(-\mu w)$ حيث μ هي ثابتة (مختلفة عن السابقة وحيث w تمثل الطاقة الشاملة في الجزيء .

وبين ادخال هذا القانون في تفسير قوانين بويل ـ ماريوت وغي لوساك أن الثابتة μ يجب ان تكون مساوية لـ : $1/kT$ باعتبار أن T تساوي درجة الحرارة المطلقة وان k هي « ثابتة بولتزمان » المذكورة السابقة .

إن معرفة المسار الوسطي الحر ، المتحصل بفعل اللزوجة ، والفرضية بان الجزيئات في الغازات البسيطة هي كرات حجمها الحقيقي يعادل تقريباً الحجم الذي يحتله السائل ، هذه المعرفة وهذه الفرضية ، مكنت لوشميت Loschmidt في سنة 1865 من تحديد قطر الجزيئات. ومن تحديد عدد افوغادرو بذات الوقت ، أي عدد الجزيئات الموجودة في جزيء ـ غرام ،(سمي أيضاً عدد لوشميت) وهكذا بيَّن ان الأقطار الجزيئية يجب ان تكون من عيار 10^{-8}سنتم أي 1 انغستروم Ångström) وعدد آفوغادر من عيار (10^{23}) .

ويطبق استدلال بولتزمان حول قانون التوزيع الذي قال به مكسويل ، على حركات الانتقال ، التي اعتبرها مكسويل وحدها ، في عمله الأول ، كما تطبق على كل الحركات الأخرى الممكنة . وساعد هذا الاستدلال على تبيين « مبدأ التوزيع المتعادل للطاقة » وبموجبه تنقسم الطاقة الحركية ايضاً ، وسطياً بين كل درجة من الحرية ، وهي اي الطاقة الحركية تساوي نصف kT عند كل درجة .

ننظر ، في البداية إلى غاز وحيد الذرة يمكن تشبيه كل جزيء منه بكرة . كل جزيء يتمتع بثلاث درجات من الحرية إذ يكفي معرفة الاحداثيات الثلاثة لمركز ثقله النوعي ، من اجل تحديد موقعه . وبالتالي فإن طاقته الوسطية $3/2$ kT وبالنسبة إلى جزيء غرام تساوي $3/2$ NkT أو $3/2$ RT باعتبار أن N هي عدد آفوغادرو . ولكن عند تسخين هذا الغاز درجة واحدة مئوية ضمن نفس الحجم ، فإن كل طاقته يجب أن تقدم بشكل حرارة لأنه لا يوجد عمل ، وهذه الطاقة المقدمة تساوي $3/2$ R . وإذاً فالحرارة الذاتية النوعية ، بالحجم الثابت C_v يجب أن تساوي $3/2$ R ، وسنداً لمعادلة ماير ، فان الفرق يكون $C_p - C_v = R$ (نحن نقيس هنا الحرارة والعمل بنفس الوحدة) ، ذلك أن $C_p = \frac{5}{2} R$ وان $C_p/C_v = 5/3 = 1,67$.

وبالنسبة إلى غاز اكثر تعقيداً إذا كان n هو عدد درجات الحرية في كل جزيء فاننا نجد بنفس

الشكل : $C_p/C_v=(n+2)/n$. أما الغازات الثنائية الذرة مثلاً والتي يجب اعتبار جزيئها مكوّناً من كرتين مرتبطتين بشدة ـ وبالتالي لها خمس درجات من الحرية (إذ يتوجب لها ثلاثة بارامترات من اجل تثبيت موقع احدى الذرات وبارامترين آخرين لتثبيت اتجاه خط المراكز) ـ يجب أن تقدّم معادلة هي : $Cp/Cv = (5 + 2)/5 = 1,4$.

ولكن هذه النسبة تستخرج بسهولة لأنها تتدخل مثلاً في التعبير عن سرعة الصوت . وقد كان من المعروف تماماً انه بالنسبة إلى غالبية الغازات البسيطة مثل الاوكسجين والآزوت ، تعادل النسبة فعلاً (1,4) .

وابعد من ذلك اعتبرت الذرات في جسم صلب ، وهي تقوم حول موقعها التوازني بذبذبات هرمونيكية تتساوى فيها الطاقة الحركية مع الطاقة الوسطى الكامنة ، هذه الذرات يجب أن يكون لها طاقة كاملة وسطى تعادل ضعفي طاقة غازٍ ما ، أي kT لكل درجة من الحرية .

هذه الفرضية أدت إلى اعطاء كل جسم بسيط جامد حرارة ذرية = 3R ولما كانت R ، بالكالوريات تساوي تماماً (2) فان هذه الحرارة الذرية تكون (6) . ونعود بالتالي إلى قانون دولون وبيتي ؛ ولكن هذه النظرية لا تسمح بتفسير المتغيرات تبعاً لدرجة الحرارة ، الملحوظة في حالة الجوامد وفي حالة الغازات . وفي القرن العشرين فقط وبعد تطور نظرية الكانتا امكن توضيح هذه المسائل .

ومن الملحوظ تماماً ان كل النجاحات التي حققتها النظرية الحركية تعود في النهاية ، إلى عدم تتبع ـ عبر الزمن ـ الحركة الفرد للجزيئات، بل تعود إلى كوننا نماهي بين كل المقادير القابلة للقياس (مثل الضغط ودرجة الحرارة) والمعدلات المتوسطة . هذه المعدلات يمكن أن تؤخذ بالنسبة إلى مختلف المواقع المشغولة ، عبر الزمن ، من قبل جزيء واحد ، أو تؤخذ ، في لحظة معينة بالنسبة إلى عدد كبير من الجزيئات، وتماهي المتوسطات أو المعدلات الوسطية المحسوبة على هذا الشكل يشكل ما يسمى « القاعدة الطاقية » . والنقطة الأساسية التي يجب حفظها هي أن حسابات المتوسطات يدخل حتماً مفهوم « الاحتمالية » . وبادخال هذا المفهوم منذ البداية ، استطاع ج . ويلارد جيبس Gibbs (1839 - 1903) ان يقيم الميكانيك الاحصائي الخاص به ، وهو ميكانيك ربما كان اقل ايحاءً من طريقة بولتزمان Boltzmann ولكن يمتاز بانه لا ينطبق فقط على الغازات (واستطاعت اعمال بولتزمان وجيبس ان تمكن النظرية الذرية من تقديم كل خصائص « نظرية كبرى » كانت تبدو متعارضة مع الترموديناميك . ومن هنا نشأ النزاع الطويل بين الذريين والطاقويين ، ومن بينهم يذكر و. استولد Ostwald وكتابه ضلال الذرية) . وإن نظرنا إلى امكانية تعريف « احتمالية حالة نظام ما » فلن يصيبنا العجب إن عرفنا أن نظاماً ما معزولاً ، يتجه عموماً ، اثناء تطوره ، نحو حالات تتزايد احتماليتها ، اي ان احتمالية هذا النظام تتزايد . وان قربنا هذه النتيجة من قاعدة كلوزيوس حول تناهي الانتروبيا Entropie (القصور الحراري) نرى وجوب وجود رابط بين هذين المفهومين . وهذا الرابط وضعه بولتزمان سنة 1877 ومفاده ان « الانتروبيا » تتناسب مع لوغاريتمة الاحتمالية ، وان معامل النسبية أو الترابط هو أيضاً ، ثابتة (k) بولتزمان » .

من السهل فضلاً عن ذلك التثبت من ان هذا الرابط لا يمكن ان يكون إلا لوغاريتميا ، لأنه إن

نظرنا إلى نظام مكون من تراكم نظامين آخرين فإنّ « انتروبيته » تساوي مجموع « انتروبيات » الأنظمة المكونة ، واحتماليته هي حصيلة احتماليات هذه الأنظمة .

وفي الأساس ان الرابط بين هذه الاحتمالية و « الانتروبيا » هو الذي اتاح للورد رايلي Rayleigh أن يعالج ، كما رأينا مسألة التوزيع الطيفي لاشعاع الجسم الأسود . وهذا الرابط ايضاً هو في اساس استدلالات بلانك Planck الذي ادخل مفهوم الكانتوم الطاقوي . وبخلال القرن العشرين ، وبنوع من الصدمة الارتدادية غير المتوقعة انعكست نظرية الكانتا وبعمق على تطور الميكانيك الاحصائي ففتحت امامه آفاقاً غير متوقعة .

الفصل السابع

نهضة الكيمياء

I - ظهور نظرية الذرية الحديثة

لا ينطبق انقطاع العصر ، المفروض بمقتضى خطة العرض العامة، على الفصم الحاصل في تاريخ الكيمياء . ساد الظن لفترة طويلة حول امكانية البدء بمرحلة جديدة في هذا التاريخ مع السنوات الأولى من القرن التاسع عشر . تبرر المظاهر هذا المفهوم بصورة جزئية؛ فقد برزت افكار جديدة في ذلك الحين ، كان لها نتائج ضخمة على تطور النظرية ، والأحداث التي بدت وكأنها توحي بهذه الأفكار قد كشف عنها رجال جديدون كانوا مجهولين قبل سنة 1800 .

ولكن إذا لاحظنا بعناية اكبر الفترة الواقعة بين1801 و1818 نرى انها النتيجة المنطقية لتيارات فكرية كبرى ونتيجة اكتشافات القرن الثامن عشر وانها امتداد له . ولفهم هذه الحقبة وتفسيرها يجب دائماً ان تكون حاضرة في الذهن الاحداث العلمية التي جرت في الثلاثين سنة السابقة . ان هذه الحقبة هي في الواقع التي عملت على اعداد القطع الحقيقي الذي يمكن وضعه بين سنة 1818 و1820 تقريباً .

ان الأفكار الرئيسية المنافسة هي وليدة مجمل الأعمال التي تناولت الالفات les affinités التي ادخلها اختراع البطارية الكهربائية من قبل فولتا ، هذا من جهة ، ومن جهة اخرى بسبب النظام الجديد في الكيمياء . ان الابعاد المفتوحة أمام مفهوم الالفة بفضل الكهرباء الكيميائية قد احاطت ودعمت مفاهيم العلاقات التناسبية والتناسبات المتعددة بين المكونات التي تمت صياغتها في القرن الثامن عشر . فقد ازدهرت هذه التناسبات وتأكدت بفضل النظرية الذرية التي قال بها دالتون . ان اكتشاف اجسام جديدة بسيطة ادى إلى تصحيح في نظرية الاسيدات (الحوامض) عند لافوازيه Lavoisier وإلى توضيح المعرفة بالمركبات الركيزية (القاعدية) . بعد هذه التصحيحات احتفظ نظام لافوازيه بأهميته حتى أواخر القرن التاسع عشر .

وهكذا وحتى لا يكون حقبة في الاكتشاف العلمي محددة بصورة كيفية ، من المنطقي اكثر

النظر الى الحقبة الممتدة من سنة 1783 إلى سنة 1818 ككل ، بدلاً من فصلها ، كما يجري عادة في سنة 1802 .

ان بداية هذه الحقبة قد سبق وصفها في المجلد الثاني من هذه الموسوعة . وخلال السنوات العشرين الاخيرة منها كان نشاط الكيميائيين زخماً جداً بحيث يصعب تماماً الاخبار عن تتالي الاكتشافات والنظريات . وعلى القارىء ان لا ينسى ان اعادة تجميع الاحداث ـ من اجل وضوح العرض ـ حول خمسة مواضيع رئيسية ، لم توقف هذه الاحداث عن ممارسة تأثير متبادل فيما بينها .

1 - خصائص الغازات

الخلائط الغازية ونظرية نيوتن : كان للعديد من الأعمال حول الخصائص الفيزيائية في الغازات تأثير مباشر على تكوين نظرية الذرات .

فبعض هذه الأعمال قام بها الفيزيائي الانكليزي جون دالتون Dalton ، الذي نشر سنة 1792 كتاباً حول الظواهر الجوية . وابتداءً من سنة 1801 ابتكر دالتون عدة فرضيات لكي يوفق بين الأحداث المكتشفة طيلة خمس وعشرين سنة سابقة تقريباً وبين نظرية نيوتن . فبموجب هذه النظرية ، يتكون السائل من جسيمات . والثقل النوعي في السائل يتناسب مع الضغط عليه ، أما التدافع بين الجسيمات فيتناسب مع البعد بين مراكز هذه الجسيمات . وقد كان من الصعب فهم كيفية تطبيق هذه النظرية على مزيج متجانس من الغازات المتنوعة كما هو الحال في هواء الفضاء . ان تركيب الهواء الفضائي لم يكن معروفاً في زمن نيوتن ، ولهذا لم يستطع ان يفكر في هذه الصعوبة . ولرفع هذا الاشكال ، افترض دالتون الذي كان يفترض ان الذرات في مختلف الغازات مختلفة ، افترض ان التدافع لا يتم إلا بين ذرات متشابهة . وعرف فيما بعد ان انتشار غازٍ ما في غازٍ آخر يتم ببطء ويحتاج إلى قوة ضخمة ، نظراً لأن قوة الدفع هي الحرارة التي تحيط بالذرات .

ذوبانية الغازات : في بداية سنة 1803 اكتشف وليم هانري W. Henry وجود علاقة بين ضغط الغاز وذوبانيته في الماء . ورأى دالتون الذي سبق ان اطلع على اعمال هانري قبل نشرها ، رأى فيها تأكيداً لنظريته الخاصة ، فاهتم طيلة سنة تقريباً بالمسألة هذه بثبات . وقرر وجوب وجود علاقة بالنسبة إلى الحالة الغازية ، وحالة الذوبان بسيطة بين المسافات المتتالية الموجودة بين الجزيئات . ان هذه العلاقة يجب أن تتغير مع كل غاز . واستشف ان هذه العلاقة تتغير ، كما تتغير ثقلية الغازات ، دون ان يفكر بامكانية وجود علاقة بين الثقلية والتركيب الذري (أو الجزيئي) في الغازات ، وهي فكرة لم تعلن إلا فيما بعد من قبل آفوغادرو Avogadro ثم من قبل امبير Ampère . ولكن دالتون بعد ان انتقل من الأحجام الى الاوزان قرر وضع جدول أول بالاعداد المتناسبة ، ومن الممكن ان فكرة الاوزان الذرية ذات الطبيعة الكيميائية لم تخطر له الا على اثر بحوثه الفيزيائية المتتالية ، بعد اكتشاف قانون هانري .

الاعداد المتناسبة مع الجزيئات : في 6 أيلول سنة 1803 دون دالتون في دفتره للمذكرات الرموز الاولى للعناصر ، وهي رموز اقتضت نظرية الذرات ، ولكنه ، كما سنرى ، لم يضع حقاً هذه النظرية الا خلال السنوات التالية .

وابتداءً من سنة 1804، ابتكر نظرية ثانية فيزيائية لكي يوفق اقتراح نيوتن مع تعايش غازات مختلفة في وسط متسق . ان جزيئات الغازات كانت مكونة من الذرة الجامدة المحاطة بفضاء من الحرارة . ان فكرة حجم الجسيمات قد مكنته من التثبت من فكرته عن العلاقات بين اعداد الجسيمات في مختلف الغازات الموجودة في نفس الحجم . عندها ، وبالترابط مع فكرة وزن الجسيمات ، بدأ في تركيب النظرية الذرية التي لم تبدأ بالظهور علناً قبل 1805 .

قانون العلاقات الحجمية المترية : جرت اعمال مهمة اخرى حول الغازات من قبل غي لوساك Gay - Lussac ، خلال نفس الفترة ، فمنذ سنة 1802 قدم العالم الشاب أمام الانستيتو [المجمع العلمي] مذكرة حول تمدد الغازات . وفي سنة 1805 اجرى مع الكسندر فون همبولدت Hamboldt بحوثاً ايديومترية ،[اي متعلقة بوزن الغازات] حول تركيب الماء ، ولاحظ فيها بعد على العديد من الأجسام ، ماهية النسب الحجمية المترية التي تتم التركيبات الغازية على أساسها . أما تتمة اعماله فقد مكنته ان يصوغ في سنة 1808 قانوناً مهماً جداً بموجبه تندمج الغازات فيما بينها وفقاً لعلاقات حجمية مترية بسيطة ، وعندما يتم التفاعل في حالة من القبض تكون العلاقة بين الحجم الحاصل وبين حجم المكونات علاقة بسيطة وصحيحة دائماً .

فرضية آفوغادرو وامبير : ـ ان النتيجة الرئيسية لهذا القانون قد استجرها اميديو آفوغادرو سنة 1811، ثم امبير في سنة 1814 . وهذا الأخير لم يكن قد اطلع على مذكرة الكيميائي الايطالي . ارتكز آفوغادرو على قانون غي لوساك ولاحظ ان علاقات الأحجام تقتضي علاقات بين كمية المواد . وهذه المواد « لم تكن تبدو انها متعلقة الا بالعدد النسبي للجزيئات التي تمتزج، وبالعدد النسبي للجزيئات التي تنتج عن الاولى ». وبالنتيجة صاغ آفوغادرو فرضية تقول ان حجماً معيناً من أي غاز يحتوي دائماً نفس العدد من الجزيئات «الدامجة»، وان هذه الجزيئات مكونة من جزيئات « اولية » . . . وهذا التمييز بدا ضرورياً بحكم ان احجام المكونات والمكونات الغازية كانت دائماً ضمن نسب بسيطة وهذا التمييز يتوافق مع واقع فيزيائي لم يفهم معناه تماماً إلا في أواخر القرن التاسع عشر . فضلاً عن ذلك بينت فرضية آفوغادرو وجود علاقة ثابتة بين حجم غاز ما وعدد الجزيئات في هذا الغاز المحتواة ضمن حجم محدد .

وبشكل آخر ، وباستعمال تعابير مختلفة تشابهت النظرية التي صاغها امبير مع نظرية آفوغادرو واستلهم امبير وجود القوى الجاذبة والدافعة ، فافترض ان الأجسام مكونة من جسيمات مركبة من اتحاد عدة جزيئات . ولا أهمية اطلاقاً لشكل الجسيمات . المهم هو عددها والمسافات بينها في الأجسام الغازية . وعرف امبير ايضاً وجود علاقة بين هذا العدد وحجم الغاز . وشرح تركيب الغازات المعروفة وقانون غاي ـ لوساك ليستنتج ان جسيمات الأوكسجين والأزوت والهدروجين مكونة من أربع جزيئات وان جزئيات بخار الماء مثلاً مكونة من ستة جزيئات : اربعة هدروجين واثنان اوكسجين . وحددت نظرية « آفوغادرو ـ امبير » هكذا ، بالنسبة إلى الغازات ، ما سمي فيها بعد بالأحجام الجزيئية وبالأوزان الجزيئية ، وفضلاً عن ذلك عبرت بوضوح عن الفرق بين الذرات والجزيئات ، كما تقرر هذا الفرق في نهاية القرن التاسع عشر ؛ وهكذا ، وخلال عشر سنوات ، اتاح مجمل الأعمال حول

الغازات امام مختلف العلماء ان يصوغوا المفاهيم الرئيسية التي ارتكزت عليها فيما بعد النظرية الذرية وهناك دراسات اخرى حول علاقات المكونات في الأجسام الصلبة والسائلة قدمت بذات الوقت نتائج كانت ذات فائدة كبرى .

2 - الصراع حول النسب المحددة .

من أضخم الأعمال الكيميائية في بداية القرن كانت « محاولة الاحصاء الكيميائي » التي نشرها برتوليت Berthollet سنة 1803. لم يكن لهذا الكتاب ، الصعب القراءة ، تأثير كبير على الكيميائيين في عصره الا ان الكثير من الأفكار التي يعرضها قد عرفت فيما بعد على أنها أساسية .

قوانين برتوليت : ـ ان هذه الأفكار قد بحثت من قبل المؤلف خلال حملة مصر حيث رافق بونابرت . وبعد 1801 بدأ برتوليت بعرض هذه الأفكار أمام « الانستيتو Institut ». وهي مستوحاة من الأعمال الطويلة حول الإلفات الكيميائية التي تحققت خلال القرن الماضي . ولكن برتوليت كان يجهل مثل كثيرين من معاصريه ، منشورات ريختر Richter والتي لم تكشف له إلا من خلال مترجم كتابه الى الألمانية فيشر Fischer . وربما لو كان اطلع عليها قبل عدة سنوات ،لكانت بعض مفاهيمه قد تغيرت ، ولما كان عارض مبدأ النسب المحددة .

ان المفهومين الرئيسيين اللذين اعلن عنهما برتوليت ظَهَرَ أنَّ كليهما ينبثق من الآخر . والمفهوم الأول ينكر على التآلف أية قيمة ذاتية . وهو يحطم المبدأ الذي بنيت عليه الجداول العديدة التي وضعت طيلة ثلاثة أرباع القرن . والاستبدالات في المركبات لم تتم بشكل مطلق ؛ وترتيبها قد ارتبك بفعل شروط التفاعل . والكمية من المادة المستعملة ، والوقت ودرجة الحرارة يمكن ان تغير في نسب التقاسم وحتى في اتجاه التفاعل .

ويبدو ان برتوليت كان يظن ان التفاعل الكيميائي يتم خلال مرحلتين. في المرحلة الأولى تتفكك الأجسام المتواجدة ، وفي المرحلة الثانية تتشكل المركبات الجديدة . ومع مفهوم الزمن يدخل لأول مرة مفهوم الكتلة الكيميائية المهم جداً . وهكذا رأى برتوليت تماماً ان المفعول الكيميائي يتقلص بمقدار ما يتم الاشباع . وإذا كان لم يعبر بوضوح عن مفهوم التوازن الكيميائي فقد استشعره . .

ومن هنا انبثقت الأحكام الثانية التي شكلت فيما بعد قوانين برتوليت الشهيرة : ان توازن الوسط يختل اذا استبعد احد الأجسام . وهو ، أي التوازن، يتكون سواء عن طريق الترسيب أو التطاير . وان وضعنا معاً محلولين من الاملاح، تتوزع الأسيدات بين الركائز « البازات » ، وتتوزع « البازات » بين الأسيدات ؛ وإذا كان أحد الاملاح الأربعة المتكونة على هذا الشكل غير قابل للذوبان تتغير نسب الاقتسام الى أن يزول تماماً أحد العناصر . ولكن هذا العنصر جر معه الكمية اللازمة لاشباعه تماماً من العنصر الذي يتحد معه ليكونا ملحاً غير قابل للذوبان .

والتمييز بين الظاهرات الفيزيائية أمثال الخلائط أو التذويب الرطب، وبين التفاعلات الكيميائية مثل اشباع « باز » بأسيد ، هذا التمييز لم يكن قد تقرر بعدُ تماماً ، والابهام بين هذين النوعين من الظاهرات حمل برتوليت على استخلاص ـ من مبادئه ـ القناعة بانه ، في مركب معين ، تختلف نسبة

المركبات بحسب ظروف التفاعل الذي يولد الجسم .

الجدل بين برتوليت وبروست Proust : ـ في ذات الحقبة اجرى الكيميائي جوزيف . ل . بروست ارصاداً حول العديد من المركبات المعدنية . ونشرت أولاها سنة 1799 ، وتناولت كربونات النحاس ، في حين تناولت الارصاد الأخرى الاملاح والاوكسيدات من عدة معادن . واستنتج بروست من تجاربه مفهوماً معاكساً لمفهوم برتوليت . ان المركبات تحتوي على نسب محددة من مكوناتها . وقام نقاش طويل بين الكيميائيين واستمر علناً بأدب من سنة 1801 الى سنة 1808. وحاول برتوليت ان يدعم الرأي القائل بأن تكوُّن الرسوبات ذات التركيب الثابت لم يكن إلا عارضاً سببه اللاانحلولية التي تصد التغير المستمر في المزيج . وكذلك رفض ان يستخرج من قوانين « غي لوساك » الاستنتاجات التي أخذت تفرض نفسها . فهو رأى أن ثبوتية النسب الحجمية المترية في الغازات لم تكن إلا عن مفاعيل التركيز اي من قلة الحجم . وأجاب بروست ، كل مرة ، بتجارب جديدة تقدم تأييداً لوجهات نظره البسيطة الواضحة ؛ وأخيراً لم ينجح برتوليت في استجلاب العلماء الى رأيه ، وقُبِل بسرعة قانونُ بُروست الذي لم يكن إلا تعميماً لأعمال « ونزل Wenzel » و « ريختر Richter »، إنما بشكل أقل تعقيداً .

3 - الذرات ، والخلايا ، والمعادلات

منذ بداية الفكرة العلمية وحتى السنوات الأولى من القرن التاسع عشر ، بقيت فكرة الذرات مفهوماً ميتافيزيكياً . وخلال القرن الثامن عشر كان للبحوث حول الالفات نتيجتان مهمتان : أولاً العمل على تقبل الفكرة ، ودونما رجعة ، القائلة بأن المادة لها تركيب جسماني ، ثم اثبات ان الأجسام البسيطة لا يمكن ان تتحد الا بنسب محددة من أجل تشكيل مختلف المركبات الكيميائية المعروفة . وكانت الظروف مهيأة حتى تتم صياغة فكرة الذرات بتعابير علمية وتصبح فرضية خصبة .

جون دالتون ـ لا شك ان الفضل يعود الى جون دالتون في صياغة هذه النظرية العظيمة التي ربما كانت الاكثر أهمية في كل تاريخ الكيمياء .

لقد كان لهذا العالم الانكليزي مسار حياة متواضع جداً كأستاذ ، لو لم يأته هذا الالهام العبقري . لقد ولد في 6 أيلول سنة 1766 في ايغلفيلد (كمبرلند) . كان عصامياً وبدأ يعلم منذ شبابه الأول ، وهو يتابع دروسه . واستقر في مانشستر سنة 1793 ، واستمر يعيش من اعطاء الدروس الخاصة ، قائماً بأعمال تحليلية صغيرة . وذهب الى المدن الانكليزية الكبرى يعطي محاضرات ودروساً ، مما جعله على اتصال بالعلماء البريطانيين المشهورين . وحتى عندما جعلته أعماله مشهوراً ، تابع هذه الحياة المستقلة المثقلة بالأعمال التي يحبها ومات في سنة 1844.

من الصعب معرفة كيفية ظهور النظرية الذرية في ذهن دالتون . واشهر شهادات المعاصرين ومنهم دالتون نفسه ، وتوماس تومسون ووليم هانري ، متناقضة بهذا الشأن ، وبدت مضلّلة، فضلاً عن ذلك ، ان دفاتر مذكرات دالتون قد اتلفت بخلال الحرب العالمية الثانية ولم يبق منها الا دراسات مُجزأة من هذه المراجع التي لا تتيح العودة الى بحوث معمقة .

وأقدم مستند ذي تاريخ مؤلف من جدول محاضر سبق الكلام عنها ، حرره دالتون في 6 ايلول سنة 1803، وفيها يتعلق الأمر كما رأينا بمحاضرة فيزيائية ساعدته ، بحسب التأويل الذي قدمه معلق حديث هوليونارك . نـاش Nash على الاتجاه نحو نظرية الذرات الكيميائية . ويبدو ثابتاً ان دالتون لم يكن يمتلك مجمل نظريته الكيميائية قبل منتصف 1804 . والمذكرات التي قرأها قبل ذلك الحين لم تنشر الا بسنة 1805 ، ووفقاً لعرف شائع جداً يومئذٍ ، قـد أكملها دالتون قبل ان يقدمها للطباعة . وفي الواقع ان أول عرض لنظريته ، كان من صنع توماس تومسون سنة 1807، في كتابه المسمى « نظام الكيمياء ». أما النقاش حول تاريخ تصور النظرية الذرية فلم يتناول الا حقبة قصيرة نسبياً . الا ان حقبة بعض السنوات لها أهمية كبرى ان نحن بحثنا في كيفية تصور دالتون لهذه النظرية . وقد امكن القول تباعاً انه استلهم اعمال ريختر وانـه نفذ تجارب حول كـربور الهـدروجين المعـروف ، أو حول أوكسيد الآزوت ، وانه توصل إلى اكتشافه بفضل بحوثه حول ذوبانية الغازات ، وعلى أية حال اتاح انتقاد المستندات تبيين الاستحالة ، أو على الأقل اشارة الشك [حول تاريخ تصوره للنظرية الذرية].

الفرضية الذرية : ـ عرض دالتون بصورة كاملة الفرضية الذرية في كتاب ضخم عنوانه « نظام جديد في فلسفة الكيمياء » وقـد ظهر المجلد الأول منـه في سنة 1808 والمجلد الثالث في سنة 1827 فقط . وكانت افكاره الرئيسية هي التالية :

« من علاقـة الأوزان في الكميات [في الجسم المركب] يمكن ان نستنتج الأوزان النسبية للجزيئات أو لذرات الأجسام . وبموجب هذا المعطى سوف يظهر وزن وعدد هذه الذرات في تراكيب اخرى . . . ».

والمركبات تتم ذرة مقابل ذرة ، وهي تتم بالكيفية الأنسب . وإذا اتحد جسمان لتشكيل مركب واحد فان هذا المركب يكون مثنوياً ، ولا يتضمن الا ذرتين (او عـددين من الذرات العلاقة بينهما واحدة) . وإذا هي شكلت مركبين مختلفين ، فالأول مثنوي والآخر تثليثي . وفي حـالة تشكـل ثلاثـة أجسام فإن احدهـا يكون مثنوياً والآخرين تثليثيان . وأخيراً إن الأوزان النسبية في كل ذرة ـ وهذا ما سمي فيما بعد « الأوزان الذرية » ـ تختلف بالنسبة إلى كل ذرة . وهذه الفكرة الأخيرة كانت جديدة رغم أنها انبثقت من أعمـال ريختر Richter . وفي البحـوث كلها حـول التعاطف أو التآلف لم تخـطر الفكرة ـ وبصورة خاصة في أعمـال هيغينـز Higgins الـذي اعتبر خطـأً كسـابق لدالتـون ـ القائلة بأن كل عنصر يدخـل في التركيب بـوزنٍ نسبي خاص بـه . هذا المفهـوم الخصب جدا وجد تأكيدات له متتالية حتى عصرنا الحاضر .

وقدم دالتون جدولاً بالأوزان النسبية أو الأوزان الذرية لعشرين عنصراً ولعدة مركبات . وقـد اعـطي الهـدروجـين وزنـاً ذريـاً يسـاوي 1 أمـا أوزان الآزوت و لكـربـون فتسـاوي 5، والأوكسجين 7 الخ أما بخار الماء والامونياك والغاز النيتري المعتبرة كل واحدٍ منها كمثنوي ، فقد أعطيت على التوالي الأوزان النسبية المساوية لـ 6 , 8 , 12.

المكافئات ـ ان كلمة مساوٍ او متكافىء هي من ابتكار الكيميائي الانكليزي ولاستون Wollas-tone الذي حسب جدولاً آخر كان أساسه الأوكسجين المساوي لعشرة . وتختلف أرقام هذا الجدول في

مقاديرها عن أرقام جدول دالتون ، إذا وضعنا جانباً فروقات النتائج التحليلية بـالذات ، وإذا كـان جدول ولاستون لم يستعمل أيضاً كجدول دالتون ، فان كلمة مساوٍ او متكافىء قد اعتمدت من قبـل غالبية الكيميائيين لأنها تمتاز بعدم اقتضاء وجود الـذرات . ولم يشأ اشهـر الكيميائيـين ، ومن بينهم برتوليت وداڤي قبول فرضية دالتون في كل مؤداها .

وفي الواقع ان كلمة ذرة وجزيء ومساوٍ أو متكافىء قد قبلت بمعانيها المماثلة كأنها لمعنىً واحد . وفي ما بعد فقط اتخذ النقاش حول التعابير وحول الجداول اتجاهاً حاداً نوعاً ما . وفي فرنسا بشكل خاص ، وبتأثير من النظرية الوضعية ، تناول هذا النقـاش المبادىء الفلسفيـة . وسوف نعـود إلى هذه المسـألة وبشكل خاص إلى نظام المساويات المنشور سنة 1817 من قبل برزيليوس Berzelius .

4 - الكهركيمياء

ان اختراع البطارية الكهربائية قـدم للكيميائيـين وسيلة قويـة للاستقصـاء استعملت في بادىء الأمر بشكل مبهم . وكان الكيميائيون والفيزيائيـون مقودين بفكـرة وحيدة ، وهي ان قـوى التآلف يمكن التلبس بها مع القوى الكهربائية . وقبـل العثور عـلى درب الوصـول الى المسألـة تلمسوا بعض الوقت . وحاول العديد من المجربين ، في كل البلدان ، أن يفككوا الماء . وألقى تشكل المواد الثانوية بعض الابهام على النتائج الحاصلة . ومن بين كل هذه الأعمال ، فإن اعمال الكيميائيين السويديين ، هيسنجر Hisinger وبرزيليوس Berzelius ، دلت على ان تيار البطاريـة يفكك المحلولات الملحيـة . وقد استخدمها داڤي كدليل لاجراء بحوثه الأولى .

همفري داڤي Humphry Davy : ـ ولد همفري داڤي في بيزانس (كورنـواي) في سنة 1778 . وبعكس ما كان عليه مواطنه دالتون ، انجز داڤي مساراً باهراً في مختلف المؤسسات العلمية فـاعطاهـا الشهرة بفضل أهمية اعماله . وفي العشرين من عمره اصبح رئيس مختبر في منشأةٍ في بريسـتول « مؤسسة بنوماتيـك » . وقام ببحـوث فيها حـول الغازات وبصـورة خاصـة حول بـروتوكسيـد الآزوت . وفي سـنة 1801 استدعي الى لنـدن حيث اعاد تنـظيم مختبرات المؤسسة الملكية في بـريطانيـا ، التي سبق تأسيسها منذ ثلاث سنوات من قبل بنجامين تومسون لغاية خيرية انسانية . والأعمال التي نفذها داڤي في هذه المنشأة جلبت له شهرة كبيرة . وقد طَبَعَ عمله بعمقِ التقدمَ في الكيمياء والفيزياء طيلة الربع الأول من القرن التاسع عشر . ومات العالم الانكليزي الكبير باكراً ، في سنة 1829 .

وحلل داڤي البوطاس في صفائح ونجح في تفكيكه سنة 1807 . واكتشف هكذا البوتاسيـوم ثم الـصوديوم بعد ذلك بقليل . وأثار الاعلان عن هذا الاكتشاف أكبر الاهتمام . وعرف الكيميائي الألماني سيبك Seebeck ان مستحضرات تفكك الباريت والسترونتيان لها مظهر المعادن . وحضر السـويدي ترومسـدورف Tromsdorff بطريقة الالكتروليز مزيجاً من الأمونياك . وبعد ذلك بأشهر بدأ داڤي متابعـاً بحوثه بعزل الباريوم الممزوج بالحديد . وتعلّم من برزيليوس وبونتين Pontin الوسيلة في استخـدام الزئبق ككاتود للحصول على مستحضرات التفكـك ، ونجح تبـاعاً في عـزل الباريـوم والسترونتيـوم والكالسيـوم والمانيزيوم . وهناك تربة أخرى مثل الآلومين والغلوسين ، والسيليـس (الصوان) قاومت تجاربه ، ولكنه اشتبه بوجود معدن في تركيبها .

الاصلاح في نظريات لافوازيه : ـ هذه السلسلة من الاكتشافات ، والمنفذة في عدة أشهر ، طولت لائحة الأجسام البسيطة ولكن فضلاً عن ذلك قدمت للمجربين ، بواسطة المعادن القلوية ، عوامل كيميائية أتاحت، من بين العديد من الاكتشافات، اكتشاف الكلور كعنصر بسيط ، وهذا المفهوم فرض نفسه على أثر اعمال غي لوساك وتينارد Thénard من جهة ، ودافي من جهة اخرى ، وكلها بين 1808 و 1810 .

حتى ذلك الحين وتحت تأثير نظريات لافوازيه كان الكلور يعتبر مركباً من الاوكسجين ومن عنصر مجهول. ودراسة أثره على أحادي أكسيد الرصاص والفحم ثم البوتاسيوم قادته إلى تصحيح هذا الخطأ، الأمر الذي أدى إلى اصلاح النظرية القائلة بأن كل الأسيدات يدخل فيها عنصر الأوكسجين، وقد بطلت هذه النظرية باكتشاف اليودسنة 1811على يد صانع « لملح البارود Salpêtre » اسمه كورتوا Courtois . ودرس كليمان Clément أولا اليود الذي لم يكن معروفاً إلا عندما تنافس عليه غي لوساك ودافي لوصف خصائصه وذلك حوالي 1813 .

عودة ظهور مبدأ كوني : ـ كل هذه التجديدات غذت تأملات الكيميائيين من كل البلدان . وبرزت على التوالي نظريات عدة محاولةً تأويل طبيعة العناصر الجديدة . وتدخلت الكهرباء في لعبة التآلف. فمنه، أي من هذا التآلف ما أعطى للهيدروجين أو الأزوت دوراً غريباً يذكر بدور المبدأ الكوني المسمى « الفلوجيستيك Phlogistique » قبل حقبة لافوازيه . وبعد ثلاثين سنة من اعمال الكيميائي الشهير فان الكثير من خلفائه احسوا بمصاعب كثيرة في التعرف ، كعناصر بسيطة ، على العناصر التي يكشفها التحليل على أنها بسيطة . ان هذا الانبعاث المتأخر جداً لفلسفة مضى عليها الزمن ـ حول المادة ـ هو مثل جيد حول الموانع التي اخرت التقدم العلمي ، وتزداد قيمة هذه الفلسفة لكونها ليست من صنع كيميائيين من الدرجة الثانية بل من الأكثر شهرة .

القوى الكيميائية والقوى الكهربائية ـ ان تفسير التفاعلات الكيميائية بواسطة القيمة الكهربائية قد سبق اكتشافات دافي . في السابق طرح بريستلي مماثلة القوى الكهربائية ، والكيميائية ، وأخذ الفكرة الألمانيان ونترل Winterl وريتر Ritter . وكان هذا الأخير أول من لاحظ في سنة 1798، أن المعادن تصنف في نفس المرتبة إذا نظرنا إلى سهولة اكسدتها أو إلى خصائصها الكهربائية . في سنة 1804 نشر ارستد Oersted نظرية ظهرت فيها لأول مرة وبهذا الشكل فكرة قوتين متعارضتين متناقضتين في كل مكان . الآسيدية والقلوية ، الاكسدة والاختزال ، كلها تنتج في نظره من زيادة احداهما على الأخرى واستخدم مَثَلَ البطارية الكهربائية ليبين ان القوى الكيميائية والقوى الكهربائية متماثلة .

وبذات الحقبة تقريباً اعلن آفوغادرو عن نظرية قريبة جداً من نظرية ارستد ، إنما أعم . وكان دافي يساهم هو أيضاً في حمل أفكار مماثلة . ونظر آفوغادرو إلى خاصتين مشتركتين بين كل الأجسام : الاوكسجينية والاكسدة ، احداهما تنقص عندما تزداد الأخرى . فقرر وضع تصنيف للأجسام يتطابق مع التصنيف الحاصل بفضل الطريقة الكهربائية .

ج . ج برزيليوس Berzelius : وأخذ برزيليوس كل هذه الأفكار وابتكر نظاماً أثر في كل النظرية الكيميائية حتى أواخر القرن التاسع عشر . ولد برزيليوس سنة 1779 في وفرسوند في السويد

ودرس دراساته الطبية . وعين استاذاً في ستوكهولم سنة 1807، وتابع مهمته في هذه المدينة . وفي سنة 1832 ، اعفي من كل مهماته التعليمية واستطاع ان يتفرغ تماماً لبحوثه ولمختبره الشخصي . ان العديد من الكيميائيين الألمان بشكل خاص، جاؤوا ينهون دراساتهم في هذا المختبر ، وفيه حصلوا ، اضافة إلى تكوينهم كمجربين ، على احترام من اجل أفكار معلمهم . وبواسطة سمعة المختبر ، والنشرات العديدة التي قام بها برزيليوس ، ورحلاته ومراسلاته ، استطاع أن يوجه الرأي العلمي الأوروبي طيلة ربع قرن من الزمن . ولكن تأثيره امتد لمدة طويلة بعد موته سنة 1848 .

ارتكز نظام برزيليوس على هذه الفكرة ان اصغر جزء في جسم بسيط مزود بقطبية كهربائية ، ولكن عند القطبين لا تتعادل كهرباء كل اشارة . وهكذا يقدم كل جسم مزية كهربائية ايجابية أو كهربائية سلبية . وعرفت هذه النظرية حتى بداية قرننا هذا باسم النظرية الثنائية اذ بموجبها تتكون كل الأجسام من عنصر أو من مجموعة عناصر كهربائية ايجابية ومن مجموعة أخرى سلبية . ودله التحليل الكهربائي حول غالبية المركبات المعدنية . ومع ذلك فان بعضاً من هذه المركبات مثل الاوكسيدات كانت محرومة من الاستقطابية الكهربائية. وسماها برزيليوس الأجسام المجردة أو المحايدة. وقد ثبت فساد النظرية الثنائية كما سنرى عند تطور الكيمياء العضوية.

5 - الترقيم الرمزي

وجدت النظرية الثنائية، بعد صياغتها ، طريقتها في الكتابة بفضل الترقيم الرمزي الذي نشره برزيليوس سنة 1818 . ومن المعروف ان الرموز الكيميائية القديمة قد سقطت منذ زمن بعيد ، عندما أعاد اليها قيمتها كيميائيو القرن الثامن عشر الذين وضعوا جداول بالتآلفات. واستخدمها لافوازيه عدة مرات ليكتب أولى المعادلات الكيميائية الموجودة في الأدب العلمي . واستخدمها برغمان Bergman في جداوله التآلفية . وبعد اصلاح جداول الترميز ، نشر هاسنفراتز Hassenfratz وآديت Adet نظام رموز بسيطة نسبياً . وتجمعت اشارات العناصر لتشكل المركبات . ولكن لم يُعطَ لهذه الاشارات أي وزن نسبي

ترقيم دالتون: ـ ان دالتون هو الذي ابتكر أول تمثيل رمزي مرتبط بنظام الذرات، وبجدوله المتضمن الأوزان الذرية. هذا التمثيل متميز ببساطته، فكل الرموز هي دوائر في داخلها تصور اشارات مميزة، لكل عنصر : نقطة لتمثيل الهدروجين وخط عامودي قصير للدلالة على الأزوت، الخ. وكتبوا صيغة المركبات بمراكمة الرموز بمقدار الذرات في كل عنصر تدخل في تكوينه . وأوحت تمثيلات دالتون بنوع من البنية الجزيئية، وهو مفهوم لم يظهر إلا بعد نصف قرن بعده . هذا النظام قد استخدم في الكثير من الكتب الحديثة من أجل تفهيم وفهم البنية في الجزيئات العضوية الكبرى. ولكن القليل من المؤلفين المعاصرين يعرفون اسبقية دالتون، الذي لم تستعمل اشارته من قِبل أي من معاصريه.

الترقيم الحديث ـ بمعزل عن اعماله حول الاستقطاب أو التعاكسية (Polarité) في العناصر وفي الأجسام المركبة ، قام برزيليوس ببحوث حول التركيب الوزني للأجسام الكيميائية . وعاد إلى أعمال ريختر التي وقعت في طي النسيان وعرف بها ، وتبنى آراء دالتون حول النسب المزدوجة والمتعددة وعمل

على وضع جدول جديد بالمتساويات سنداً الى (مئة) من الأوكسجين. وقام بعدة اعمال طويلة في التحليل من أجل تعيين النسب الصحيحة من مختلف العناصر الموجودة في الأجسام المركبة ، وكذلك العلاقات التي تجمع بينها . واختار كرمز لكل عنصر أول حرف من اسمه باللاتينية ، مقروناً بحرف آخر عند الضرورة تجنباً للالتباس . وأخيراً ابتكر استعمال المثقلات العددية في الصيغ تفادياً لمراكمة الحروف ذاتها .

وهكذا نشأ الترقيم الحديث . ودخل هذا الترقيم في الاستعمال سريعاً . ونشر عالم المعادن الفرنسي بودانت Beudant ترقيماً حروف اسمائه باللغة الفرنسية . ولكن كل الكيميائيين كانت لديهم الحكمة في فهم ان الغيرة القومية ان ظهرت في هذا المجال ، فمن المحال امكانية وضع كتابة كيميائية كونية وأصبح ترقيم برزيليوس ضرورياً خصوصاً بعدما تكاثرت اعمال الكيمياء العضوية . ولم ينقطع العالم السويدي عن تحسين هذا الترقيم ولكن كل التغيرات التي ادخلها لم تعمل إلا على زيادة صعوبة الاستعمال ، ولهذا زالت بقلة الاستعمال .

ومن لافوازيه إلى برزيليوس كانت الكيمياء قد تجددت بكاملها خلال اربعين سنة . وبعد تجريدها أخيراً من كل العوائق التي تراكمت في القرون العشرين الماضية دخلت الكيمياء في المرحلة الحديثة .

II - الذرات أو المتساويات

برزيليوس : **الأحجام والأوزان** : - عندما نشر برزيليوس ، الموجز حول نظرية النسب الكيميائية في سنة 1818 (ترجم إلى الفرنسية سنة 1819) تضمن هذا الكتاب نوعاً ما أول جدول كامل للأوزان الذرية . ولم يهمل الاستاذ العالم السويدي أية معطيات تجريبية قدمها العلم في عصره . وبطمأنينة وثقة جميلتين وضع مقاربة بين قوانين الأوزان وقوانين الغازات. ومع ذلك لم تكن هذه القوانين الأخيرة لتتوافق بشكل مباشر فيما بينها .

وكما رأينا استخلص دالتون الأوزان الذرية للأوكسجين والكبريت والأزوت والكربون والفوسفور من تكوين مركباتها الهيدروجينية : وافترض ان ذرة من الهيدروجين تتحد بذرة واحدة من عنصر آخر ، ثم في حالة وجود عدة خلائط مع الهيدروجين ، فانه كان يعود إلى أقلها هيدروجيناً لكي يحدد الوزن الذري .

نأخذ مثل الماء : انه مركب من وزن واحد من الهيدروجين (مأخوذة كوحدة) ومن ثماني اوزان اوكسجين : واذاً فصيغته OH (نذكر عابرين إذا نحن اخذنا في الاعتبار تركيب الماء الأوكسيجيني ، الذي اكتشفه تينارد Thénard سنة 1818 ، فبالامكان استخراج ان وحدة من الهيدروجين يمكن ان تندمج مع ست عشرة مرة وزنها من الأوكسيجين) . وأخيراً في مواجهة هذا دلت التجارب « الأيديومترية» (قياس حجم الاحتراق) أن حجماً واحداً من الأوكسجين يندمج مع حجمين من الهيدروجين (من أجل الحصول على حجمين من بخار الماء)، مما يؤدي إلى صيغة أخرى للماء هي H_2O .

ولكن لننظر كيف وفق برزيليوس بين هذه المعطيات :

« إذا قارنا معاً الظاهرات المعروفة حول خلائط المواد الغازية نكتشف نفس قوانين النسب الثابتة التي تشبه القوانين التي اكتشفناها من قريب حول نسبها الوزنية . مما افسح في المجال أمام كيفية تصور الأجسام التي يجب ان تمتزج فيها بينها وهي في الحالة الغازية . وأسمّيها نظرية « الأحجام » لكي اميزها عن « النظرية الجسمانية »، التي تكون فيها الأجسام ممثلة في حالة الجمود . ودرجات الدمج هي ذاتها اطلاقاً في نفس هاتين النظريتين ، والشيء الذي يسمى في احداهما ذرة يسمى في الأخرى حجماً .

وقد أثار العديد من العلماء الشكوك حول هوية الذرات والأحجام . ولكن لما كانت النظريتان ليستا الاّ اشكالاً تمثل في نظرنا العناصر التي تندمج فيما بينها ، وذلك من أجل فهم أفضل للظاهرات ، خاصة واننا ليس لدينا الطموح في عرض ما يحصل حقيقة في الطبيعة ، وإذاً فالنظريتان تكونان جيدتين عندما تعطيان التفسيرات الأكثر بساطة . ولكن لا يكمن هنا فضل النظرية التي تعتبر فيها الذرة والحجم ككسور احدهما من الآخر . مثاله انه لم يقبل القول بأن الماء يتألف من ذرة من الأوكسيجين ومن ذرة من الهيدروجين . ولكن بما ان الماء يحتوي على حجمين من الهيدروجين مقابل حجم واحد من الأوكسيجين فإننا استنتجنا انه في الهيدروجين والمواد المشتعلة عموماً ليس للحجم الاّ نصف وزن الذرة ، في حين في الأوكسيجين يكون للحجم وللذرة نفس الوزن . وهذا لم يكن الاّ افتراضاً عفوياً لم تكن صحته عرضة للفحص ، فقد بدا لي انه من الأبسط ، ومن الأقرب إلى الحس السليم ، الافتراض بتقبل نفس النسبة في الوزن بين الحجم والذرة في الأجسام القابلة للاشتعال بدلاً من الاوكسيجين . إذ لا شيء يوجب الظن بوجود فرق بينها . وإذا اعتبرنا الماء مؤلفاً من ذرتين من الجذر (الجذر هنا يعني المعنى الذي قصده « لافوازيه » أي : الجزء من المادة الممزوج بالاوكسيجين) ومن ذرة من الاوكسيجين ، تتماهى النظرية الجسيمية ونظرية الأحجام ؛ بحيث ان الفرق بينهما لا يقوم الاّ في حالة التجميع حيث تمثلان الاجسام ».

ومع ذلك إذا لم يرَ برزيليوس أية صعوبة كبرى في التقريب بين نظرية الأحجام والنظرية الجسيمية ـ أي في الترجمة الساذجة للقوانين الوزنية ـ فإنه يرتكز على هذه النظرية الأخيرة لأن «النظرية الجسيمية تمتاز عن نظرية الأحجام في « انها اوسع واشمل ». ونفهم بسهولة اكبر هذا الموقف اليوم أكثر من سنة1818 ذلك ان العناصر الغازية الوحيدة التي قبل برزيليوس بوجودها هي الهيدروجين والأوكسيجين .

في حين تُستنتج الأوزان الذرية للأوكسيجين والكبريت والأزوت والكربون والفوسفور ، في نظر دالتون من تركيب المزائج التي تعطيها هذه الأجسام عندما تمتزج بالهيدروجين المأخوذ كوحدة قياسية ، كان برزيليوس يرى ان الأوكسيجين هو الذي يشكل العنصر المرجعي (O = 100) للنسب الكيميائية . اما الأوزان النسبية في العناصر فتحدد سنداً لتركيب اوكسيداتها .

ان الفرضية الذرية كما تصورها برزيليوس حوالي سنة 1818 ، كانت توفق بشكل سطحي خالص بين المعطيات الحجمية المترية ، والمعطيات الوزنية . وسرعان ما ظهرت اكتشافات جديدة وأفكار جديدة طرحت مشاكل اخرى وفرضت حلولاً أخرى.

دولون Dulong وبيتي Petit : الحرارة النوعية في العناصر : ـ ان اشياء عظيمة قد حصلت في

ذلك الزمن ، قال فيها بعد ورتز Wurtz وهو يضع تاريخ تلك الحقبة : ان سنة 1819 رأت ظهور مذكرتين لهما أهمية بالغة : مذكرة دولون وبيتي ومذكرة ميتشرليك Mitsherlich .

استعمل دولون وبيتي نتائج سلسلة عظيمة من التجارب (راجع حول هذا الموضوع الفصل السابق) واتخذا كوحدة الحرارة النوعية للماء، ثم أشارا إلى هذه الملاحظة، بشكل عام ، وهي ان الحرارة النوعية في العناصر تتناسب عكساً مع اوزانها الذرية ، وبقول آخر ، وبحسب تعبير هذين العالمين بالذات « ان الذرات في كل الأجسام البسيطة ، لها بالضبط نفس السعة بالنسبة الى الحرارة » أو أيضاً أن حاصل ضرب الأوزان الذرية والحرارات النوعية هي دائماً ثابتة .

ومع ذلك ، وحتى لو أخذنا في الاعتبار عدم الدقة التجريبية التي كانت تشوب تحديد كل من العاملين بالنسبة الى حاصلهما ، اضطر دولون وبيتي ، من أجل تركيز قانونهما إلى قسمة الاوزان الذرية التي افترضها برزيليوس على اثنين ، في عدد من الحالات .

ان اعادة البحث هذه في بعض النسب الكيميائية لم توقفهما عن العمل ، وقد احسنا صنعاً حين اشارا بقولهما : « يوجد دائماً شيء ما من التحكم في تحديد الوزن النوعي للجزيئات الأولية(الاوزان الذرية) ؛ ولكن عدم الدقة لا يتناول اكثر من عددين أو ثلاثة يوجد فيما بينها العلاقات الأكثر بساطة» .

ميتشرليك Mitscherlich والايزومورفية : ـ بيّن ميشرليك في آخر سنة 1819 ان الفوسفات والزرنيخات من ذات المعدن يمكن أن يكون لها نفس الشكل البلوري ، وبقول آخر ان الأملاح الناتجة عن دمج ذات الركيزة « الباز » مع آسيدات مختلفة ، يمكن ان تكون ايزومورفية (ذات الشكل والتكوين التبلري الواحد) (راجع أيضاً في هذا الموضوع، الفصل 1 من القسم 4) وبالعكس انطلاقا من نفس الاسيد مع ركائز « بازات » مختلفة يمكن الحصول على املاح ذات اشكال بلورية متماثلة . من ذلك كربونات الكلسيوم والحديد والزنك والمانغانيز والخ . . في هذه الحالات التي تكون فيها الأبنية المتبلرة متشابهة كيف لا نستنتج القرابة الكيميائية بين المواد ـ التي يمكن التبادل بينها ـ والتي تكوّنها، أي الذرات. إن تحديد الأوزان الذرية لا يمكنه تجاهل هذه المماثلات الجديدة. وفي الواقع، أن الايزومورفية (التشاكل) المقررة بين أوكسيد الحديد وأوكسيد الكروم مثلاً يجب أن تفرضْ مراجعة الأعداد النسبية التي أسندت، حتى ذلك الحين الى هذه المعادن.

وفهم برزيليوس تماماً أهمية هذه المعطيات : فقد فرضت عليه تغيرات مهمة في نظام الأوزان الذرية الذي وضعه سنة 1813 . والجدول الجديد للأوزان الذرية الذي نشره سنة 1826 (وأُعيد نشره سنة 1835) لم يعتمد بشكل جماعي . فهناك عدد من الكيميائيين (وممّن لا يستهان بهم) التزموا بالنسب المستخرجة فقط من اعتبار الكميات المتعادلة التي تدخل دمجاً ، مبتغين تجاهل العلاقات الحجمية المترية التي جهد برزيليوس في اخذها في الاعتبار بقدر المستطاع .

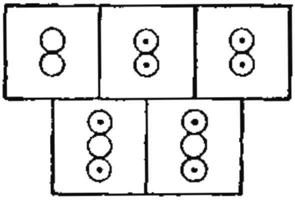
وبادخال مفهوم الذرات المزدوجة قدم برزيليوس لهذه المعارضة القوية تنازلاً من شأنه ، ان يضيف مزيداً من الغموض ، بفعل صفته الاصطناعية . هذه الذرات المزدوجة تمثل في الواقع ما يسميه المعارضون النسبة أو المساوي . وعندما كتب رمزاً للماء HO ، والأسيد كلوردريك HCl والأمونياك NH . استمر برزيليوس يظنها مماثلة لـ H_2O، H_2Cl_2 و H_6Az_2 مع التذكير، بفضل تلاعب باشارت

التيوغرافيا، بالترميز HO وHCL وH_3Az التي وضعها جيلن Gmelin والقائلون بالتعادلية.

تفسير قانون آفوغادرو - امبير : - تجاه الذين رفضوا اعتبار العلاقات الحجمية المترية لم يكن أمام برزيليوس الا المجابهة بالتفسير المضلل لهذه المعطيات الأساسية، معتبراً بشكل خاص ان الغازات البسيطة وحدها، وليس «الذرات المركبة» تخضع لقانون «آفوغادرو - امبير». اذ في النهاية كان هذا القانون هو المحور: وحده الفهم الصحيح لهذه الفرضية الملهمة يستطيع أن يحل التناقضات التي تخبط فيها كيميائيو سنة 1825. ولكن العلم لم يكن قد توصل بعد إلى هذا. ان الغازات والابخرة، مهما كانت طبيعتها تتمدد أو تتقلص بذات الكمية في ذات الشروط الحرارية أو الضغط. ولكي يشرح آفوغادرو المفاعيل التي تحدثها القوى الفيزيائية افترض أن الغازات والابخرة تتكون من جزئيات موضوعة على مسافات متساوية، تبتعد او تقترب بذات الكمية تحت نفس التغيرات في الحرارة والضغط. وإذا كان هناك علاقة بسيطة بين أحجام الغازات وعدد الجزئيات المادية التي تحتويها هذه الأحجام، فيمكن القول بأن كل الغازات تحتوي في نفس الحجم نفس عدد الجزئيات. ولكن هذه الجزئيات ما هي بالضبط ؟

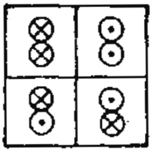
وحيث تتعقد الأشياء قليلاً، فعندما يريد الكيميائي، في ضوء هذه الأفكار البحث عن فهم لما يجري عندما تندمج الغازات، وهي تتقلص بدرجات متغيرة بحسب التفاعلات المدروسة. عندما يندمج حجم من الكلور مع حجم من الهيدروجين يعطي حجمين من الغاز كلوريدريك : وإذا كانت جزيئات الكلور والهيدروجين ذرات غير متكسرة، فانها تندمج فقط واحدة مع واحدة. ولكن عندئذٍ، عندما يحصل التفاعل تكون جزئيات الغاز كلوريدريك، أقل عدداً بمرتين في وحدة الحكم، مما هو عليه عددها في الغازات المكونة لها. الأمر الذي يدحض فرضية آفوغادرو الأساسية. وكذلك يتكون حجم من الماء انطلاقاً من نصف حجم من الأوكسيجين ومن حجم من الهيدروجين ومن نصف حجم من الآزوت اي بقول آخر : ان المادة الموجودة في وحدة حجم غاز أولي مثل الأوكسيجين والهيدروجين والآزوت، لا تمثل الدرجة القصوى من القسمة التي هي جديرة بها، إذ في الغازات المركبة تنقسم هذه المادة إلى قسمين أيضاً لتعطي الغاز كلوريدريك والماء أو الأمونياك متمثلة بنفس حجم المرجع.

وهذه الصعوبة لم تكن مستعصية : إذ كان يكفي الافتراض مع آفوغادرو وامبير. ان الجزيئات الدامجة التي توجد بعدد متساوٍ في الغازات أو في ابخرة الأجسام البسيطة، تتألف هي بالذات من عدد من الجزيئات الأولية. وهذا يعني التميز الذي أصبح كلاسيكياً اليوم، بين الذرة (وهي جزيء أولي) والجزيء (وهو جزيء دامج). والتصاميم التالية (انظر الصورة 8و9) المقترحة حوالي سنة1833 من قبل مارك انطوان غودين Marc - Antoine Gaudin تدل بوضوح على تشكل جزيئات سبق ذكرها. وللأسف لم تفهم افكار غودين اذ ظهرت صعوبة اخرى، هي صعوبة اوزان الابخرة غير العادية.



بخار الماء

صورة 9 ـ تشكل جزيئين من الماء



« غاز هيدروكلوريك »

صورة 8 ـ مخطط يبين تشكل جزيئين من اسيد كلوريدريك بحسب : « غودين ».

اثقال الابخرة والأوزان الذرية : ـ نعود بصورة ادق الى مسألة النسب الكيميائية . إذا احتوت الأحجام المتساوية من الغازات أو الأبخرة نفس عدد الجزيئات، فبالتالي تكون الأوزان العائدة لهذه الخلايا متناسبة مع الأثقال . وهنا يوجد وسيلة لتحديد الأوزان الذرية لمختلف العناصر بشكل مباشر . وحوالي سنة 1826 تصدى لهذه المهمة جان باتيست دوما Dumas ، ثم الهارد متشرليك Eilhard Mitscherlich . أما برزيليوس فقد كان يفترض في فرضية « آفوغادرو » وجود تشابه بين مفهوم الذرة ومفهوم الجزيء ، فكان يقر ضمناً ان جزيئات العناصر ، في الحالة الغازية ، تحتوي دائماً على ذرتين . وفي الواقع ان هذا صحيح بشكل عام .

ولكن هناك استثناءات مهمة . نحن نعرف اليوم انه إذا وجدت ذرتان في نفس الجزيء من الأوكسجين، أو الكلور او الهيدروجين أو الكبريت (بالدرجة 800) الخ. فهناك أربع منها في الفوسفور والزرنيخ وذرة واحدة في جزيء الزئبق والكالسيوم.

وفي مشروعه ، اصطدم ج . ب . دوما بهذه الشذوذات غير المرتقبة . فقد اتاحت قوانين الأوزان حساب الأوزان الذرية في الآزوت والفوسفور مثلاً والتي تأخذ في الاعتبار (وتنبىء) عمّا بينها من تماثل كيميائي ، لقد تشوشت أفكار دوما تماماً بفعل كون الآزوت في الحالة الغازية ثنائي الذرات وكون الفوسفور رباعيها .

« وهكذا إذاً لا نقطة وسط ، يقول : يتوجب اما رفض المماثلات في الكيمياء . . أو التسليم بانه ، في الحجم المتساوي ، لا يحتوي الفوسفور والزرنيخ والآزوت نفس العدد من الذرات . (وكان يكفيه ، فعلاً الموافقة على ذلك أو الاغضاء عنه) .

ويتابع دوما : ماذا يبقى لنا من التسلق الطموح الذي سمحنا لأنفسنا به في منطقة الذرات ؟ لا شيء ، لا شيء ضروري على الأقل . ما يبقى لنا هو الاقتناع بأن الكيمياء قد تاهت هنا ، كما هو الحال دائماً ، عند ترك التجربة ، ثم السعي بدون دليل عبر الظلمات . أما والتجربة بين يديك فانك تعثر على متساويات ونزل Wenzel . . . ولكنك تبحث عبثاً عن الذرات كما صورها لنا خيالنا ، عندما اعطينا لهذه الكلمة ـ المكرسة مع الأسف في لغة الكيميائيين ـ ثقة لا تستحقها . . . ولو كنت صاحبها ، لمحيت كلمة ذرة من العلم ، مقتنعاً بأنها تذهب أبعد من التجربة . . . . » .

ان التأثير القوي الذي ناله في تلك الحقبة ج . ب . دوما اعطى لهذا الموقف زخماً خاصاً .

ولد دومـا في اليس Alès (غارد) سنة 1800 ، وقد تخصص في بادىء الأمر ، خـلال إقامته في سويسرا بالفيزيولوجيا ونجح . ولما عاد إلى باريس وعمره واحد وعشرون سنة أخذ ، وبسرعة يتجه اتجاهاً اكاديمياً متقدماً . وكانت حياته العلمية الناشطة قصيرة نسبياً . وانطلاقاً من الامبراطورية بشكل خاص ، سيطرت السياسة على اهتماماته، ويعود الفضل اليه في انجاز عمل علمي مهم منه بحـوث حول الاستبدالات ، تعتبر بدون شك الأجل والاكثر خصباً . ومات في كان سنة 1884 بعد ان كرس القسم الأخير من حياته في تحرير الاشادات الاكاديمية .

هذه إذاً ، وبناءً على النصائح المسموعة من « دومـا » ، كلمة ذرة ، تمحى من العلم ـ بصورة مؤقتة على الأقل ـ والكيميائيون مدعوون الى الالتزام عند مستوى التجربة الخالصة وها نحن في ازهى أيام الحركة « التعادلية » . وفي مواجهة واقع مستعصٍ لم تعد للغة ـ الترميز الكيميائي ـ الاّ قيمة نسبية خالصة واصطلاحية .

كتب دومـا الاسيد الأميتيكي بهذا الرمز $C_8 H_8 O_4$، وكتبه ليبيغ Liebig $C_4 H_8 O_4$ ، ولكن في أي جسم عضوي مؤلف من كربون واوكسيجين وهيدروجين تؤثر ، ليس فقط ، النسب الوزنية بين مختلف العناصر التي تكون هذا الجسم ، بل أيضاً ضخامة الخلية ، ودرجة تركيزها($C_4H_4 O_8$مثلاً ، أو مضاعفاته ؟) . ومن أجل رفع هذا الاشكال المهم ، ارتضى الكيميائيون في سنة 1840 ، وعلى سبيل الدلالة ، العودة إلى حجم غازي يمكن ان يكون ، بالنسبة إلى حجم 8 غ اوكسيجين (يؤّخذ كوحدة) ، اما 2 او 4 . وافترضوا يومئذ ان بعض المركبات يمكن أن تأخذ حجم 6 أو 8 أو 12 حجماً في الحالة البخارية .

جيرهارت Gerhardt واصلاح المتعادلات : ان جيرهارت هـو الذي أعـطى في سنة 1843 (وكان عمره سبعاً وعشرين سنة) لهذه المسائل بداية الحل النهائي ، واتى الضوء هذه المرة من الكيمياء العضوية ، أو بالأحرى من تصادم كل المعطيات الحاصلة ، في مختلف مجالات علم في أوج تطوره .

ويعتبر جيرهارت بدون شك، مع صديقه لوران Laurent، الكيميائي الذي يمثل خير رمز يميز هذه الحقبة الرومنطيقية من الكيمياء، التي تتوهج بالأفكار وبالتناقضات. ولد جيرهارت في ستراسبورغ سنة 116 وقد تأثر في بادىء الأمر بالعالم القوي ج ـ ب. دومـا، وعيّن استـاذاً في مونبليه سنة 1838. ولكن مزاجه الجموح ، وجرأة نظرياته لا يمكن ان تساعـد على نجاحه في الجـامعة ، وفي ستراسبورغ ، لم يحصل على منصب، حيث الوسائل المادية كانت تعطى له بالقطارة ، الاّ قبل وفاته بسنتين . هذه الوفاة التي وقعت سنة 1856. وترك هذا الرجل الذي مات ابن اربعين أثراً عميقاً في كيمياء عصره .

في كتابه « موجز الكيمياء العضوية » (1844) لاحظ جيرهارت « الشذوذ الفريد الذي أدخله الكيميائيون في ترقيم المعادلات ».

كتب يقـول : « في الكيمياء المعـدنية اتخذ الكيميائيـون كحد للمقـارنـة ، إليـه تـرجـع كـلّ المتعادلات ، وزن مئة للأوكسيجين ، في حين اعتمدوا في الكيمياء العضوية ، ولنفس الاستعمال وزناً قدره مئتان . وإذاً اسندوا للمتعادل في الأوكسيجين العضوي ضعفي وزن الأوكسيجين المعدني .

وقد ادركنا هذا الخطأ ونحن نحلل عدداً كبيراً من التفاعلات العضوية ، وفيها شاهدنا دائماً ـ عندما يتعلق الأمر بالاسيد كربونيك وبالماء ـ C_2O_4 ثم H_4O_2، اي كميات مضاعفة عن الكميات التي تعتبر كمتعادلات في الكيمياء المعدنية . هذا الحدث يتوافق مع هذا الظرف الآخر وهو انه في كل المعادلات العضوية المدروسة بصورة كافية عن طريق التجربة مثلت متساويات الكربون والأوكسيجين باعداد مزدوجة ، ومتساويات الهيدروجين باعداد قابلة للقسمة على أربعة ».

نكتب هنا ، مثلاً في النظامين ، صيغة الأسيدات العضوية التي كانت قد اكتشفت في الوقت الذي تكلم فيه جيرهارت . منذ هذا الوقت اصبحت التجارب متعددة بشكل كاف ، حتى ليمكن التأكيد انه بين اعضاء هذه العائلة لا يدخل اي آسيد آخر .

	بالنسبة الى C =12 و O =16	بالنسبة الى C =6 و O =16
آسيد فورميك	CH_2O_2	$C_2H_2O_2$
ـ آسيتيك	$C_2H_4O_2$	$C_4H_4O_2$
ـ بروبيونيك	$C_3H_6O_2$	$C_6H_6O_2$
ـ بوتيريك	$C_4H_8O_2$	$C_8H_8O_2$
ـ فاليريك	$C_5H_{10}O_2$	$C_{10}H_{10}O_2$
ـ كابرويك	$C_6H_{12}O_2$	$C_{12}H_{12}O_2$
ـ اونانتيليك	$C_7H_{14}O_2$	$C_{14}H_{14}O_2$
الخ		

ولكن فلنتابع جيرهارت ، فامام الوقائع التي جمعها لا يمكن في النهاية ، وبحسب رأيه ، الاختيار الابين الاستنتاجين التاليين : أو ان H_4O_2 و C_2O_4 هما يمثلان متعادلاً واحداً أو هما يعبران عن متعادلين .

« في الافتراض الأول ؛ يتوجب إذاً تضعيف معادلات الكيمياء المعدنية حتى تتلاءم مع المعادلات العضوية ، وهذا الذي اقترحنا تطبيقه أولاً . وفي الفرضية الثانية ، يتوجب بالعكس ، اخذ نصف غالبيتها من بين الصيغ العضوية : ونحن اليوم قررنا أخذ هذا الجانب الأخير ، ونشرح بسهولة كيف دخلت هذه الاخطاء في العلم . فقد اعتبر الماء كمركب من متعادلات متساوية في كل عنصر ، وقد استنتجنا هذه النتيجة وهي ان الاوكسيدات المعدنية الموافقة وذات التركيب المماثل ، يجب أن يعبر عنها بالرمز (M O) .

ومن أجل تحديد معادلات المواد العضوية توجب بالضرورة البدء في تحليل الاملاح ، لأن رموز المواد الحيادية لم تقرر الا بمساعدة الاعتبارات المرتكزة على التفاعلات ، من ذلك مثلاً ان معرفة رمز الاسيد آسيتيك قد اتاح استخراج رمز الكحول الخ . . . وإذاً فقد تم تحليل آسيتات الفضة . ومن كمية المعدن الحاصلة بفعل التحليل استُخرِجت كمية أوكسيد الفضة المفترض في الملح . وبامعان النظر في هذه الكمية واعتبارها كمتعادل ، تم استخراج رمز المادة العضوية .

هذا الاسلوب في العمل كان يمكن أن يكون دقيقاً لو لم يكن هناك الاّ اسيدات وحيدة الركيزة (مونوبازية، اي وحيدة العشق للباز)، ولكن اليوم لم يعد هذا الأسلوب كافياً. فهو يتضمن أيضاً فرضية من حيث انه يفترض سبق وجود الماء في الأسيدات وسبق وجود الاوكسيدات المعدنية في الأملاح. فهي إذاً تُجَمّع بشكل مسبق عناصر كل أسيد أو ملح عضوي في قسمين، الأسيد الأنيدري والاوكسيد، أي أنّه بالنسبة إلى كل أسيد بشكل خاص، يقضي هذا الاسلوب بوضع فرضية جديدة وابتكار وجود جسم مجهول. إذ من بين المئة وبعض المئة من الاسيدات العضوية المعروفة اليوم. قلما يوجد أربعة أو خمسة قادرة على خسارة عناصر الماء بحيث تستجيب لهذه النظرية ».

ومن بين النقاط الاخيرة في استدلال جيرهارت، هناك اشارة الى اكتشاف عظيم الاهمية قام به الانكليزي غراهام سنة 1823. فقد بيّن هذا الأخير ان الاسيد فوسفوريك العادي واملاحه المتنوعة يمكن ان تعتبر مزيج « ذرة » من الاسيد الفوسفوريك (P_2O_5) مع ثلاثة ذرات من باز قابلة للاستبدال بذرة أو ذرتين أو ثلاث من الماء. هذا العمل، وتطوراته، غير المفهومة تماماً من جانب الكيميائيين المتشبعين بالروح الثنائية، لم يكن له ولها الاّ خصوصية نسبية خالصة. وفيما يتعلق بنظرية النسب الكيميائية، عرف جيرهارت كيف يستخرج من وجود الاسيدات المتعددة البازية استنتاجات رئيسية. والمفاهيم التي توضحت أخيراً، والتي أدخلها جيرهارت حوالي سنة 1843، وضعت اسس جدول للأوزان الذرية بقيت معتمدة من قبلنا. وقد استكملت هذه المفاهيم من قبل لوران Laurent الذي أوضح في سنة 1846 بصورة أفضل من جيرهارت، مفاهيم الذرات والجزيئات، وبصورة خاصة من قبل كانيزارو Cannizzaro، بعد ذلك بحوالي اثنتي عشرة سنة، كانيزارو الذي وضع بصورة نهائية الوزن الذري الحقيقي للمعادن المتعددة التكافؤ (جيرهارت ضعّف مرتين، وبصورة منهجية الوزن الذري لكل المعادن)، وهكذا وضعت النقطة النهائية لمناقشة شغلت الكيميائيين طيلة نصف قرن تقريباً. والحقيقة ان دعاة المتعادلات شنوا طيلة كثير من السنوات حروب مدافعة. وقد وجدوا حجة جديدة تواجه فرضية أفوغادرو في التغيرات التي تصيب بعض اوزان الابخرة في الدرجات العليا من الحرارة، وهي تغيرات يسهل تفسيرها بفعل « الفصل بين » بعض المركبات الى جزيئين يعودان، عند البرد الى الامتزاج، والأمر الغريب ان سانت ـ كلير دوفيل Deville، الذي اليه يعود فضل هذا الاكتشاف لظاهرات الفصل (1864)، كان واحداً من أولئك الذين استمروا في هذه المناقشات المتأخرة.

في حين كانت تدور هذه الصراعات الفكرية التي قدمنا صورة عن اتجاهها العام، تطور العلم الكيميائي على كل الجبهات، مقدّماً بشكل مستمر مواد جديدة للبناء القائم على قدم وساق.

وقد تحسنت الأساليب التحليلية التي كانت بدائية في أول العصر تحسناً كبيراً. واقترح جوستوس ليبيغ Justus Liebig (1803 - 1873) في سنة 1831 طريقة سهلة لتعيير الكربون والهيدروجين في المواد العضوية. وكان دوماس من جهته قد حل مسألة تعيير الأزوت.

ان الفحص الانتقادي لفرضية وليم بروت Prout (1815) (والتي تقول ان تمثل الأوزان الذرية للعناصر بمضاعفات صحيحة لعنصر الهيدروجين، يتطلب تحديدات تحليلية ذات دقة لم يكن لها

من مثيل يومئذٍ ، ومن بين الكيميائيين الذين برزوا في هذا المجال الجحود ، إنما ذو الفائدة الأكيدة ، برز البلجيكي ستاس Stas بحيث يستحق ذكراً خاصاً .

ان المعايير الفيزيائية للنقاوة بعد ان ظلت لمدة طويلة شبه استلهامية اصبحت موضوع قياسات دقيقة . واخترع روبرت ويلهلم بونسن Bunsen ، وغوستاف روبرت كيرشوف Kirchhoff « السبكتروغرافيا »، مبينين ان كل عنصر يمتلك خصائص ذاتية ، فيما يتعلق بالضوء المنبثق عنه .

فضلاً عن ذلك استطالت لائحة العناصر الجديدة بصورة تدريجية وبشكل ضخم : في سنة 1870 كان من المعروف أربع وستون عنصراً ، اي ما يعادل ضعفي ما كان برزيليوس قد احصاه سنة 1818 .

التصنيف الدوري الذي وضعه منديليف Mendéléev : هذا الفيض من المعطيات الجديدة تطلب جهداً تصنيفياً ضخماً . وقد بدا منذ زمن بعيد وجود « عائلات طبيعية » من العناصر التي سلكت اعضاؤها المختلفة سلوكاً كيميائياً متقارباً جداً : من ذلك مجموعة الهالوجينات (فلور وكلور وبروم ويود) والمعادن القلوية ، الخ . . . ولكن وان لم تستطع اية انتظامية صالحة ان تبدو مقبولة في نظر انصار المعادلاتية ، فان تقبل الأوزان الذرية الجديدة سوف يسمح لديمتري منديليف (1834 - 1907) ان يقترح « تصنيفه الدوري » الشهير للعناصر .

ان الكيميائي الروسي ، بفضل ما كان عليه من بعد النظر لم يستطع اي من معاصريه الذين تحركهم اهتمامات مماثلة (ومنهم شانكورتوا Chancourtois ، ونيولاند Newlands، ولوذار ماير Lothar Meyer) منازعته بعد ان بيّن أنّ الخصائص الكيميائية للعناصر تتبع بصورة دورية اوزانها الذرية .

وعرّف منديليف الحالة الاولى من تصنيفه في آذار سنة 1809 (راجع الصورة رقم عشرة) ؛ منذ بداية 1871 اعطى منديليف للحالة الاولى من تصنيفه ترتيباً جديداً قلما يختلف عن الترتيب المعتمد نهائياً .

وصنف العناصر المعروفة بحسب اوزانها الكيميائية المتزايدة ، « سائراً على الخط ، Va à la ligne » بحيث ان العناصر التي يقترب سلوكها الكيميائي من بعضه البعض ، تنحصر في عامود واحد (بحيث تشكل مجموعة) . وهكذا تقع أقل من دزينة من العناصر على نفس الخط الافقي . ومن هذا التصنيف (الذي نعرف اليوم انه يرتكز على قواعد عميقة : ان عدد الالكترونات في الطبقات الجوانية التي تحيط بالنواة ، هو الذي يتحكم بالخصائص الكيميائية للعناصر) ، استنتج منديليف بجرأة ملهمة استنتاجات سوف لن تتأخر في إظهار مقدار أهمية اكتشافه .

ولكي تستطيع بعض العناصر أن تحتل موقعها اللائق في « جدوله » ، فقد غير ، « بصورة مسبقة » الوزن الذري المقبول حتى حينه . وبينت تجارب لاحقة ان طلب التصحيح هذا كان له ما يبرره (وكان هذا هو حال الغلوسينيوم ، الخ) .

ولكن النجاح الاكثر ادهاشاً كان في اكتشاف عناصر توقع هو وجودها ، وقد حفظ لها مكاناً في

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

صورة 10 - « تجربة نظام عناصر » ورقة وزعها مندليف على الفيزيائيين والكيميائيين الروس .

جدوله ، رغم انها كانت ما تزال مجهولة حتى ذلك الحين .

وقد جاء عزل الغاليوم والسكانديوم ، والجرمانيوم ،وهي عناصر استشعر هو خصائصها نظرياً واعلن عنها، ليؤكد بوضوح صوابية الهام الكيميائي الروسي الكبير .

وفي سنة 1894 عندما اكتشف الانكليزي رامسي Ramsay ، في الفضاء ، الغازات النادرة (النيون والكريبتون، الخ) التي لا تمتلك أية اشعاعية عملية، اضيف عامود إلى جدول مندليف، الأمر الذي زاد، أخيراً، في تماسكه.

وفي السنوات الأخيرة من القرن (التاسع عشر) جاء اكتشاف الراديوم (من قبل بيار كوري وماري كوري) والبولونيوم (م. كوري) والاكتينيوم (دبيرن Debierne) بصورة مؤقتة يكمل لائحة العناصر .وكانت هذه العناصر الأخيرة مشعة : ان وجود هذه الخاصية الجديدة فتح آفاقاً جديدة غير متوقعة وهو قد طرح مسائل جديدة سوف تتيح حلولها ، بصورة تدريجية ، الايغال أكثر فأكثر في المعرفة الوثيقة بالمادة ، بهذه الذرة التي جهد علماء الكيمياء في القرن التاسع عشر في تبيانها ـ وبالنسبة الى البعض ـ تقبل حقيقتها .

التأثير الشيء لنظرية المتساويات المتأخرة : ان المناقشات التي سبق ذكرها ارتدت بالفعل في فرنسا بشكل خاص نوعاً من العاطفة التي يصعب علينا تصورها اليوم ، والصراع بين القائلين بالذرة والقائلين بالمتساويات قد أثر ، في هذا البلد بشكل خاص ، على تطور الكيمياء تأثيراً هو الاسوأ .

ورغم جهود العلماء بحق أمثال أدولف ورتز Wurtz ، وكان زعيم الذرانية في فرنسا ، بفضل مواقفهم الرسمية ، وشهرتهم ومواقعهم الطليعية في التعليم ، نجح القائلون بالمتساويات (سانت كلير دوفيل و بـــرتولوت Berthelot بشكل خاص) فـي فرض تصوراتهم البالية حتى أواخر القرن . لأن المساواتيـة ، والحالة الفكرية التي تقتضيها هذه المساواتية لم تقتصرا على الخلافات حول مسائل الترقيم أو الترميز : أمـام مسائل بنية المركبات العضوية ثم التطور المذهل في مجال التركيب الذي جعلته النظرية الذرية ممكناً ، لقد شكّلتا عائقاً كان لا بد لنا من المعاناة من نتائجه .

III - بنية المركبات العضوية

مفهوم البنية : ـ ان المناقشات التي تتبعناها لها علاقة بمعرفة العناصر القصوى : فهناك مناقشات أخرى استمرت بآنٍ واحد ، ملتصقة بشكل ضيق بالأولى وقد تناولت ترتيب هذه العناصر ـ التي هي في المآل الأخير قليلة العدد ـ مجموعةً لتشكل مواد يبدو تنوعها بدون حدود .

ان معرفة بنية مطلق مادة ، هو بـالدرجـة الاولى امكانيـة وصف ترتيبهـا الفضائي ، وهيكليـة الذرات التي تتكون منها هذه المادة . هذه فكـرة أولى . ولكن من يقول بهيكليـة جزيئية يقـول ايضاً بالرابط بين مختلف عناصر المجموعة ،بالرابط بين الذرات بالذات وبالتالي تقريباً بتفاعل الذرات فيها بينها . وأخيراً تضاف إلى هاتـين الفكرتـين الاوليـين ، وفي داخـل كلمة هيكليـة ، فكرة ثـالثة ، هي فكرة التمثيل والتصييغ اي اعطاء رمز مناسب لهذه الحقيقة المادية التي تحاول المعرفةُ بلوغها .

وفي مواجهة هذه المسألة ، مسألة الهيكلية ، وكذلك كما رأينا في مواجهة مسألة الذرات يبدو ان الكيميائيين من أواخر القرن قـد اعتمدوا مـواقف فلسفية جـد متنوعـة . فبالنسبـة الى الذرات ظلت الحقيقة التي يتداولونها مخفية وغير ممكنة البلوغ : فهي حقيقة الشيء الذي هو كانتي (نسبة إلى كانت) في ذاته . وحدها الروابط بين الظاهرات تبدو قابلة للمعرفة . وليس من الغرابة في شيء بعد ذلك ان يكون الاهتمام الاساسي لدى هؤلاء المفكرين هو وضع تصنيفات مناسبة . فبالنسبة اليهم بدت الصيغ الكيميائية (المعادلات) رموزاً ، ولا شيء اكثر ، وأفضل هذه الصيغ هي الصيغ التي تمثل اكثر ما يمكن من الوقائع ، وبالشكل الاكثر تماسكاً : ان علمهم المثالي يشبه كثيراً لغة جـيّـدة الـصـنـع .

والحذر تجاه النظريات هو مكوِّن آخر لهذه الحالة الفكـرية التي جعلهـا تأثـير « الوضعيـة » اكثر تقبلاً ، بشكل خاص .

ومعارضة لهذا التوجه الأول كان طموح عائلة أخرى من الكيميائيين مختلفاً تماماً : انهم كـانوا يبغون الوصول إلى الحقيقة بالذات ،فقد حزروا أن الذرات والجزيئات هي أشياء مادية وأرادوا أحيـاناً بسذاجة مؤثرة القيام بوصفها . ان الصيغ الكيميـائية لم تعد بالنسبة اليهم مجرد رموز اصطلاحية . فقد ارادوا أن تكون تصاميم حقة بل خططاً تقريبية بالمعنى الذي يعطيه المهندس لإيضاح عمل يقوم بوصفه او يعتزم بناءه .

الثنائية الكهركيميائية : ـ ان فكرة التجمعات الخاصة من العناصر داخل مادة مـا يعود تاريخها

بدون شك الى لافوازيه ، فهذا الاخير أعطى للأوكسيجين كما هو معلوم دورا رئيسيا في كل المركبات الكيميائية . وقد امكن القول انه رأى في الكيمياء تجذراً حول الأوكسيجين ومركباته ، ان الجذر Radi-cal هو القسم من المادة الممزوجة مع الأوكسيجين . وكان هذا التعريف واسعاً جداً ويمكن ان يطبق أيضاً على كثير من العناصر كما يطبق على مجموعات أكثر تعقيداً : في الأسيد كربونيك يمكن ان يكون الجذر الكربون بالذات ، وفي الاسيدات ذات المنشأ العضوي يمكن أن يكون الراديكال « الأوكزاليك » أو « التارتريك » . ومنذ اللحظة التي عثرت فيها الفرضية الذرية ، وبصورة تدريجية ، على ركيزة تجريبية أقل خضوعاً للنقاش ، طرحت مسألة ترتيب الذرات في المادة ، بعبارات اكثر دقة : ان المفاهيم التي تركها لافوازيه سوف تتغير أولاً ثم تتعمم في النظرية الكهركيميائية .

فهذه النظرية تعتبر الاجسام المركبة وكأنها مكونة من جزيئين أو من مجموعتين جزيئيتين متضادتين ، وقد ميّز لافوازيه ، في كل منها العنصر المساعد على الاحتراق (Comburant) والعنصر القابل للاحتراق (Combustible) : وترى النظرية الكهركيميائية في العنصر الأول جسماً سلبياً وفي الثاني جسماً ايجابياً ؛ وسوف يقول ج ـب . دوما بهذا الشأن : انها نفس الفكرة ، أساساً .

لقد رأينا ان برزيليوس ، وهو يطور أفكار دافي ،الذي أدت بحوثه الى اكتشاف عناصر قلوية ، قد اقترح منذ بداية القرن ، تفسيراً عاماً للظاهرات الالكتروليتيكية . فهو قد افترض ان كل الأجسام تستقطب استقطاباً مختلفاً بفعل مرور التيار . فلكل ذرة قطبان مشحونان بكهرباء ذات اشارات متضادة ، وبحسب غلبة الشحنة الايجابية أو السلبية ، توجد ذرات ذات كهرباء ايجابية وذرات سالبة الكهرباء . وفي المزيج ، تتجاذب الذرات بشحناتها المتعاكسة . وعندما نحلل كهربائياً (electrolyse) سولفات البوتاسيوم ، مثلاً ، يذهب الاسيد سولفوريك ، وهو عنصر سالب الكهرباء ، الى القطب الايجابي ويذهب البوتاس الى القطب السلبي .

انتقاد الثنائية : ـ ان مثل هذه الملاحظة ادت بانصار الثنائية الى تمثيل سولفات البوتاسيوم بالمعادلة SO_3 + HO . وبشكل اكثر عمومية ، بدت نتائج التفاعلات في التشكل والتفكك وكأنها تفرض وجود مجموعات من الذرات في الأجسام المركبة .

وقد لاحظ لوران بذكاء شديد فقال : لنعد الى مثل سولفات البوتاسيوم : « وبالارتكاز إلى التجربة ، اي الى تفاعلات اخرى ، نستطيع ، وبحق ، الادعاء بان الذرات تجتمع على الشكل التالي : SO_4 K ، SO_4 ، SK + O_4 ، SO_4 + K ، الخ.» .

وبالفعل ، فرح الكيميائيون ، في هذا المجال أشد الفرح .

في مجال الكيمياء العضوية ، حيث الاشياء أقل بساطة ، نظراً للعدد الكبير من الذرات العاملة ، وجدت الثنائية الالكتروكيميائية التي ظل برزيليوس داعيتها طيلة حياته ، تعبيرها في نظرية الجذور.

قال دوما وليبيغ مجتمعين في سنة 1837 : « إذا كانت الجذور في الكيمياء المعدنية ، بسيطة ، فهي في الكيمياء العضوية مركبة» وهكذا سلمت وحدة النظرية الكهركيميائية . وعلى كلٍ لم يسد

الاتفاق أبداً حول طبيعة هذه الجذور بـالذات التي كـان من المفترض ان تجعلهـا تفاعـلات التفكيك والتـشـكـل اكيـدة .

قال لوران Laurent ايضاً : « لاعطاء فكرة عن الفوضى السائدة في الكيميـاء العضويـة ، لن ابحث في تـركيب جسم معقد وغـير معروف ، لا ، سـآخذ الابسط . والاكـثر شيوعـاً من بين كـل الآسيدات ، وهو الاسيد آستيك . ان ترتيب ذراته يعرض على الشكل التالي .

$C_4H_6O_3 + H_2O$	$(C_2H_6)\quad C_2O_3 + H_2O$
$C_4H_6O_4 + H_2$	$(C_2H_4)\quad C_2O_4 + H_2$
$C_6H_6 + O_3 + H_2O$	$(C_2H_6O) + CO_2 + H_2O$
$C_4H_4O + O_2 + H_2O$	

وقد نـسيت منها اثنين او ثلاثة ،هذه هي : $C_2H_4 + O_2$; $C_4H_8 + O_4$

ولست ارى لماذا يجب ان اهمل معادلة م . لونغشان Longchamp : $C_4H_6O_2 + O_2H_2$

ومعادلة م . غراهام $C_4H_2 + O_4H_6$ ، الخ »

هذه التجميعات للذرات التي تجمع بالفكر داخل نفس الهلالين ، هذه الجذور الافتراضية تنتشر الى درجة انها تكتسح الكيمياء كلها . ويبدو انها قد ذكِرَ منها 111 نـوعاً في «كتاب الكيمياء » الـذي وضعه ليبيغ (Liebig) .

وكان لدى لوران اسباب وجيهة ليؤكد بحماسه المعتاد :

« بين العلوم التجريبية ، يوجد علم يصنف عفوياً بين العلوم الصحيحـة ، رغم ان هدفـه هو دراسة الأجسام التي لا وجود لها : اي الكيمياء. . .واضيف ان الكيمياء تزعم انها تعلمنا ، ليس فقط خصائص الأجسام التي لا وجود لها ، بل أيضاً خصائص الأجسام التي لا يمكنها ان توجد. . . » .

ومع ذلك فقد كان لوران غير منصف جزئياً .

ان هذه الفكرة حول الجذر ، لم تكن عقيمة تماماً ، خاصة وقد ثبت ان النظرية ، حتى ولو كانت خاطئة ، تبقى فعالة بمقدار ما توحي بتجارب وبقدر ما تـساعد على اكتشاف وقائع جديدة .

ولكن من الثـابت انه رغم الأعمـال الجميلة التي قام بهـا ليبيغ واوهلر Wohler حـول الجـذر « بنزوال Benzoyle » ، توصلت الكيمياء إلى طريق مسـدود كان من الواجب الخروج منه .

ظاهرات الاستبدال: انطلق لوران من ملاحظة يعود الفضل الأول فيها الى ج . ب . دوماس ، فوجد في ظاهرات الاستبدال الحجة التي تدمر بصورة نهائية العقائد الثنائية .

ان اوغست لوران هو بالتأكيد احد الوجوه الاكثر جاذبية فـي هذه الحقبة العظيمة . لقد ولد ، قرب لانـغر ، سنـة 1803 وتخرج مهندساً من مـدرسة المنـاجم في باريس ، وبـدأ في العلوم الى جانب ج . ب دوماس الذي سرعان ما اختلف معه لتعارض الأمزجة . واشتغل في « مصنع سيفـر اليلوي »، وأسس مدرسة خاصة للكيمياء ، ثم، بعد اقامة وجيزة في لوكسمبورغ ، عـين استاذاً في بوردو ، بعد أن قدم اطروحة في الظروف الأكثر عصفاً . وفي سنة 1848 ، امكنته العودةُ اخيراً إلى

باريس ، بلقب مجرب في وزارة النقد « Monnaie » . ولكن السل تمكّن منه فمات سنة 1853 وقد انهكته الجدالات والحرمان .

ذكر دوماس ، حوالي 1833 ، وهو يعالج بعض الكربورات ، ان الهالوجين « يمتلك القدرة العجيبة على الاستيلاء على الهيدروجين ليحلّ محله ذرة ذرة » . تجاه هذه الظاهرات اتخذ دوماس موقفاً تجريبياً حذراً ، بل يمكن القول موقفاً حسابياً ؛ فأمام المركبات التي استطاع تحويلها ، اكتفى بوضع ميزانية أرباح وخسائر : هيدروجين واحد مفقود ، وكلور واحد مكتسب . وحتى في مختبر دوماس ، كثّر لوران التجارب من نفس النوع ، ولكن تجرأ فأكد ان الكلور يحتل بالمعنى الصحيح ، اي يحل محل ويلعب نفس دور الهيدروجين المستبدل ، نحن في سنة 1836 . واعطاء الكلور ـ وهو الجسم الأكثر سلبية من بين كل الأجسام ـ دور الهيدروجين ، وهو الأكثر ايجابية ـ يعني تجاهل الخصائص الأكثر بداهة في الكيمياء المعتمدة . وكانت ضجة كبرى .

ألم يذهب لوران الى حد الزعم بأن النظرية التي اعلنها ، كانت بصورة أساسية ، مختلفة عن الملاحظات التجريبية التي وضعها معلمه ج . ب . دوماس؟ولم يكن دوماس،في ذلك الحين على الأقل، يتمسك بتحمل مسؤولية الأفكار القليلة « الأصولية » التي نادى بها تلميذه الثائر .

قال موضحاً : « لم أقل أبداً ، ان الجسم الجديد المتكون بفعل الاستبدال ، له نفس الجذر ، ونفس الصيغة العقلانية التي للأول . بل قلت العكس تماماً في مئة مناسبة . وليتفضل من يرغب بتبني هذا الرأي أن يدعمه : انه لا يعنيني » .

وبعد عدة سنوات عندما اكتشف الاسيد تريكلوراسيتيك ، اتخذ دوماس حتماً لغة اخرى . ولكن قد حدث ، رغم الافكار المسبقة لدى الاكثر شهرة من معاصريه الذين لم يوفروه من الإنتقاد أبداً ، ان وضعت افكار لوران ، لحظة حاسمة في تاريخ الكيمياء وفي تاريخ فكرة الهيكلية بشكل خاص ، فهي قربت باصالة عبقرية نوعين من الملاحظات يبدوان بدون روابط بينهما : ظاهرات إيزومورفيسم [التشابه في الشكل والتفاعل] ميتشرليك وتفاعلات الاستبدال .

وفي ما خص الأولى ، رأينا انه ، حوالي سنة 1820، اكتشف ميتشرليك Mitscherlich ان الفوسفاتات والزرنيخات حتى في نفس المعدن تمتلك نفس الشكل البلوري . وقد وسع ملاحظاته فاشملها املاحاً معدنية اخرى ، لكي ينتهي أخيراً الى هذا الاستنتاج ذي الأهمية النظرية البالغة : ان نفس العدد من الذرات الأولية الممتزجة بنفس الكيفية تولد نفس الشكل البلوري . ان هذا الشكل مستقل عن الطبيعة الكيمياثية في الذرات ، انه يتحدد فقط بعددها وترتيبها . ان قوانين الايزومورفيسم ترتد اجمالاً الى التأكيد بانه يمكن ، عن طريق الفكر ، وفي الفوسفات ، استبدال الفوسفور مثلاً بالزرنيخ ، دون ان يتغير البناء الجزيئي في الزرنيخات الناتج عن الاستبدال . وتجاوز لوران الاعتبارات الكهركيميائية ـ فأكد ان الأمر يحصل تماماً مع الكلور ومع الهيدروجين في المركبات العضوية . وقد استعارت نظريته حول النوى ، والتي صاغها سنة 1836 تقريباً ، تصوراته المأخوذة من الكريتسالوغرافيا .

ان نواة لوران، جذره الاساسي ، هي بالإجمال الهيكل الكربوني الذي تكلم عنه الكيميائيون

المعاصرون : وبفضل عناية دوماس الذي اكتشف الاسيد تريكلوراستيك اصبح الجذر الأساسي لدى تلميذه القديم هو النموذج . يقول دوماس: « في الكيمياء العضوية يوجد بعض نماذج تبقى حتى لو احللنا محل الهيدروجين الذي تحتويه هذه النماذج احجاماً مساوية من الكلور والكروم واليود ».

في هذه المعركة من أجل كيمياء جديدة اعتمد رفيق السلاح بالنسبة الى لوران وهو جيرهارت Gerhardt تكتيكاً مختلفاً تماماً . ان انتقاده لعدم تماسك الثنائية هو انتقاد جذري :

يقول : « اليوم عندما يُلاحظ كيميائي تفاعلاً أو يحلل جسماً جديداً ، فإن عنايته الأولى تنصب على تخيل نظرية صغيرة تفسر الظاهرات سنداً للمبادىء الكهركيميائية ، وهناك اسلوب عندئذٍ من أجل اقتراح نوع من الجذر الافتراضي من أجل التمكن من تطبيق هذه المبادىء على الجسم الجديد ، ولم يكن العلم في يوم من الأيام لعبة الخيال كما هو الآن بفعل ادخال هذه الكائنات الوهمية . . . ».

ولكن في مواجهة هذه الفوضى التي لا حد لها والتي يفضحها جيرهارت لا يوجد الاّ حل وحيد : الرجوع الى الشيء الايجابي الوحيد اي إلى علاقات التركيب التي يقدمها التحليل الاولي والتي تترجمها الصيغة الخام للمركبات . وكان هدفه « بلوغ القوانين العامة المستقلة عن كل نظرية حول الاستعداد المسبق لدى الجزيئات»،بحسب تعبيره . ان الكيمياء التي يقترحها يراد لها ان تكون توحيدية بالمعنى المزدوج للكلمة : فهو يرد من جهة إلى المادة ـ باقتصاره على صيغتها الخام ـ وحدتها التي نزعتها منها بصورة تعسفية ، الثنائيات ، ولكنه ، فضلاً عن ذلك ، يرد كل الخلايا العضوية في الحالة الغازية الى نفس الوحدة في الحجم ، الوحدة التي يشغلها وزن معين من الهيدروجين . هذا المسعى الذي هو من شأن مصنف مبدع ضمن مسار الوضعية المعاصرة ، مما يعطي للكيمياء عافية جديدة .

الأنماط بحسب جيرهارت: ـ وبعد ذلك سوف تتوضح الأمور بشكل واسع . إن الجهود التصنيفية التي بذلها جيرهارت اثبتت وجود سلاسل متشابهة متناظرة . وهذه الفكرة لم تكن جديدة بالتأكيد : فقد تكلم عنها دوماس بشكل خاص وبصورة اجمالية . ووضع لها مصوراً وكذلك الحال بالنسبة الى نظريته حول الأنماط . وفي ذهن لوران ودوماس ، يعتبر النمط نوعاً من الدعامة المادية للتحولات الكيميائية ، دعامة تبقى رغم الاستبدالات في التحولات . واعتمد جيرهارت هذا المفهوم ، ولكنه اجرى ما يمكن تسميته الانتقال الى الحد الاقصى .

كتب : « في الحالة الراهنة من العلم (1853)، يمكن رد كل المركبات العضوية الى أربعة انماط هي الهيدروجين ، والآسيدكلوريدريك، والماء والآمونياك :

$$\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right. \qquad \left\{\begin{matrix}H\\Cl\end{matrix}\right. \qquad \left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O \qquad \left.\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right\}N$$

انطلاقاً من هذه الأنماط التي اصبحت في ذهن جيرهارت مكونات مختصرة ، من الممكن عن طريق الاستبدال استخراج الكحول والأسيدات والأمينات ، الخ .

وعلى هذا مثلاً وانطلاقاً من « النمط ماء » الذي يستبدل احد عناصره الهدروجينية بجذر

هيدروكربوني ، يصبح من السهل تصنيف السلسلة المتشابهة من الكحول وفقاً للشكل التالي :

كحول ميتيلية $$CH_4O = O \left\{ \begin{matrix} CH_3 \\ H \end{matrix} \right.$$

كحول اتيلية $$C_2H_6O = O \left\{ \begin{matrix} C_2H_5 \\ H \end{matrix} \right.$$

كحول بروبيليك $$C_3H_8O = O \left\{ \begin{matrix} C_3H_7 \\ H \end{matrix} \right.$$

اذ هذه هي الكلمة القديمة الجذر ، المحببة لدى الثنائيين ، تعود للظهور . وقد فقدت تماماً معناها الأساسي . ان الجذر او البقية عند جيرهارت ، هي مجموعة من العناصر يمكن نقلها من جسم الى آخر تحت مفعول تفكك مزدوج .

نأخذ مثلاً لتوضيح فكرته ، ان الأمر هو التفاعل الذي اثبت به الانكليزي وليامسون Williamson (المدين كثيراً في افكاره الى جيرهارت) التركيب الحقيقي للأثير .

$$\left. \begin{matrix} C_2H_5 \\ K \end{matrix} \right\} O \quad + \quad \left. \begin{matrix} C_2H_5 \\ I \end{matrix} \right\} \quad = \quad IK \quad + \quad \left. \begin{matrix} C_2H_5 \\ C_2H_5 \end{matrix} \right\} O$$

اثيلات البوتاسيوم   يودورالبوتاسيوم يودور الاثيل   اثير ديثيلي

ان الجذر اثيل ، كما نرى ، يتوافق تماماً مع التعريف : لقد انتقل من يودور الأثيل (المنتمي الى النمط آسيد كلوريدريك) الى اثيلات البوتاسيوم (المنتمي الى النمط ماء) .

ان الصيغ النمطية ، كانت تهدف الى ترجمة سلوك الاجسام اثناء التفاعلات ، فينتج عن ذلك ان مركباً وحيداً بذاته يمكن ان يمتلك عدة صيغ جذرية (ان الالدهيد بنزويك العنصر المعروف منا حالياً ، بحسب التفاعلات التي نخضعه لها يمكن ان يعتبر اما مثل الهيدرور البنزولي (المشتق من النمط هيدروجين) او مثل اوكسيد الجذر C_7H_5 ، المشتق من نمط ماء) .

ولكن اذا كانت نظرية الانماط تشتمل على عدد كبير من المركبات ، فقد كانت في الواقع اعجز من ان تحتويها جميعاً وتصنفها . وقد كان مثلاً من المستحيل بشكل خاص رد جزيء البولي آسيد مثل اسيد سولفوريك ،أو الأجسام ذات الوظائف الكحولية المتعددة مثل الغليسرين إلى جزيء ماء واحد . ودخل وليمسن الذي لعب دوراً حاسماً في ابتكار نمط الماء ، في مجال العلم مفهوم النمط المكثف .

وبكتابة النمط الماء بالشكل «المثاني dimère » أو المثالث «Trimère» كما نقول اليوم :

$$\left.\begin{matrix} O\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right. \\ O\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right. \end{matrix}\right\} \text{ أو } O_2\left\{\begin{matrix}H_2\\H_2\end{matrix}\right. \qquad \left.\begin{matrix} O\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right. \\ O\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right. \\ O\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right. \end{matrix}\right\} \text{ أو } O_3\left\{\begin{matrix}H_3\\H_3\end{matrix}\right.$$

واقترح وليامسون ترميزاً سمح له بان يكتب :

بالنسبة الى الغليسرين : $O_3\left\{\begin{matrix}(C_3H_5)\\H_3\end{matrix}\right.$ وبالنسبة الى الاسيد سولفوريك $O_2\left\{\begin{matrix}(SO_2)\\H_2\end{matrix}\right.$

ولكن نظريات جيرهارت ، مهما كانت أهميتها في تطوير فكرة البنية ، تبقى غريبة تماماً عن الحالة الفكرية التي تفرضها هذه البنية . قال موضحاً : « ان أنماطي تعني شيئاً آخر تماماً غير أنماط م . دوماس ، فهذه الأنماط تعود الى الترتيب المفترض للذرات في الأجسام ، ترتيباً يعتبر ، برأيي خارج نطاق التجربة ».

وكان هذا الرأي مشاعاً لدى غالبية الكيميائيين الذين اعتمدوا النظرية الجديدة .

مفهوم التكافؤ Notion de Valence : ـ ان العبارات النموذجية تقتضي ان تمتلك العناصر ، كما الجذور قيمة استبدالية أو اختلاطية محددة . من هذه الرؤية كان من المقبول ان يكون للأوكسجين وللكبريت قيمة اكبر ، بمرتين ، من الهيدروجين والكلور والآزوت ، وقيمة ثلاثة أضعاف بالنسبة الى السيليسيوم وأربعة أضعاف بالنسبة الى الكربون . ومن المفترض بعد ذلك ان نميز ، كما فعلنا بالنسبة الى الجذور ، بين العناصر الوحدية والاثنينية والثلاثية والرباعية

هذه الأفكار الجديدة التي سبق رسمها من قبل ادوار فرانكلاند Frankland سنة 1852 ـ عندما قال بأن قوة الاختلاط في العنصر الجاذب هي دائماً مستكفية بنفس العدد من الذرات ـ سوف يكون لها تأثيرات مباشرة في مجال الكيمياء العضوية .

وبالاعلان ، من جهة ، عن رباعية تكافؤ الكربون ، وبالاشارة ، من جهة اخرى الى خاصية هذا العنصر من حيث قدرته على الامتزاج بذاته ، أي بقول آخر على تكوين سلاسل مكربنة ، فتح ارشيبالد كوبر Archibald Couper واوغوست كيكولي Kekulé امام الكيمياء ابعاداً لم تستطع نظرية الأنماط غير لمحها من بعيد .

ولا شيء اكثر اختلافاً من مصير هذين الرجلين اللذين ، بفارق عدة اشهر ، قدما ، كلاً على حدة حلَّ مسألة اصطدم بها جيل من الكيميائيين . ولد كوبر سنة 1831 قرب غلاسكو . وبعد دراسات انتقائية قاده ميل مفاجىء الى الكيمياء ليدخل في مختبر ورتز في باريس حيث امضى حياته العملية القصيرة . وفي سنة 1858 اصبح مجنوناً ولم يعد المجتمع العلمي يسمع عن البائس كوبر الذي

مات سنة 1892. اما كيكولي ، الذي ولد في درمستاد سنة 1829 ، فكان يحب ان يقول انه تتلمذ تباعاً على ليبيغ ودوماس وجيرهارت ووليامسون، وانه لا ينتمي الى أية مدرسة ، وعين استاذاً في غاند سنة 1858 ، وفي بلجيكا كانت الحقبة الأكثر تألقاً والأكثر خصباً في عمله . وفي سنة 1867 عاد الى ألمانيا الى بون . ومات سنة 1896 . والمذكرة التي وضعها كيكولي ، والتي تضمنت بوضوح رباعية تكافؤ الكربون ، وبشكل اكثر غموضاً ، خصوصية ما يمتلكه هذا العنصر من قدرة على التعلق بذاته ظهرت سنة 1858، اي قبل مضي شهرين على مذكرة كوبر التي عرفت بأفكار مماثلة . وكانت خيبة امل كوبر كبيرة حتى ان البعض رأى فيها اصل مرضه العقلي الذي حد نهائياً من حياته العلمية .

كتب ورتز Wurtz يقول : على العموم ، اني اجد صيغ م . كوبر ، تحكمية جداً ، وبعيدة جداً عن التجربة ، وبصيغنا الجذرية ، نحن لا نزعم اننا نقدم التكوين الذاتي العميق للخلائط ، ان هذه الصيغ لا تمثل الا التحولات ، اي وقائع تحت تناول التجربة ومثبتة بها . هذه هي حسنتها . وفي صيغ م . كوبر العكس هو الحاصل ، ان موقع كل ذرة ملحوظ ، ليس فقط بالقدرة الركيزية أو البازية للعناصر بل أيضاً بما لا اعرفه من جذب كهربائي أو قطبي ، هناك فرضيات كثيرة ، ونخطىء إذا مثلنا كل هذه الأشياء وكأنها الشريعة والأنبياء . وبهذا الشأن يقول م . كيكولي Kikulé الذي بدا لي انه فهم بصورة افضل معنى ومدلول الأفكار التي أعلنها هو في الأول في آخر مذكرته : « فيما خصني لا اعلق الا أهمية ثانوية على اعتبارات من هذا النوع » . ذلك انه كان يقال يومئذٍ بهذا الشأن ، ان اكتشاف اربعية الكربون او تكافئه الرباعي الذري لا يمكنه ان يرسم لوحده مفهوم البنية . ان انماط جيرهارت Gerhardt تعبر بشكل بسيط نسبياً وأوضح عن درجات التعقيد الجزيئي وهي درجات تنتجها ذرات التكافؤات المتنوعة . ان الأنماط الأربعة الأساسية تترجم حسب كيفيتها ، وحدة التكافؤ في الهيدروجين والهالوجينيات ، وثنائية التكافؤ في الأوكسيجين ، وثلاثيته في الآزوت . ان التعقيد التحكمي في الأنماط المكثفة يأتي من جراء عدم تفكيرنا ، حتى ذلك الوقت ، بنمط الميتان . ولكن اكتشافاً ما مهما كان مهماً ، لا يشكل ثورة . ان فكرة التكافؤ ـ وفكرة رباعية الكربون بشكل خاص ـ لم تحدث الاتصال مباشرة ، اذا امكن القول ، مع فكرة البنية ، كما رأيناها ترتسم بصورة تدريجية . ومع ذلك لقد تحقق تقدم ضخم . ومهما كانت خلفياتهم الفكرية الفلسفية ، لم يعد بامكان الكيميائيين ان يظلوا غير آبهين بالشكل الذي يربط بين الذرات الاولية ، بشكل كيميائي فيما بينها ، في الأجسام المركبة . ان هذه الذرات ، تحمل رغماً عنها ، وفي معظمها نحو معرفة ترتيب الذرات الذي حلم به لوران .وما يسميه كيكولي التكوين ،وهيرمان كولبي ، نقاط هجوم التعاطف وبوتليروف Boutlerov البنية ، هو قبل كل شيء ترتيب الارتباطات .

كان الكسندر بوتليروف (1828 - 1886) ، في بادىء الأمر استاذاً في كازان ، ثم بعد 1868 في سان بترسبورغ وكان الأول في الذين ساروا بالفكرة الى نهايتها . فاذا كانت البنية تمثل ، في مركب ما معين ، ترتيب الارتباطات بين الذرات التي تؤلف هذا المركب ، و إذا كانت رمزية الصيغ تترجم تماماً هذا الترتيب ، « يقول بوتليروف ليس لنا الحق ،في القول مع كيكولي ، بان الجسم يمكن ان تكون له عدة صيغ جذرية ، وانه ليس من لزوم للانماط التي لا تضيف شيئاً الى فهم الصيغ ».

ان التطبيق الدقيق لهذه المفاهيم الجديدة سوف يتيح لبوتليروف ان يكتشف الكحول الثلاثية ، وبالتالي ان يشرح ، وان يتنبأ بالعديد من حالات الإيـزوميريـة (isomérie) أو التماكب في تـركيب الهياكل المتحجرة (هيدروكربونيك) التي تمتلك نفس عدد ذرات الكربون .

وقد يوجد ، في هذا الشأن، خلائط ، وان كان لها نفس التركيب القياسي بالسنتمتر ، فهي ذات خصائص كيميائية مختلفة جداً، هذه الخلائط تسمى مماكبات أو متشابها نووية (Isomères) .

ومنذ بداية القرن التاسع عشر اشـير الى أمثلة عن هذه الـظاهرة المفيـدة . فقد وصف دالتـون ذاته ، ثم فاراداي كربور الهيدروجين باصنافه المتنوعة ، رغم تركيباته المتشابهة ظاهرياً . ولكن ، الى ان تحسنت الطرق التحليلية بشكل كافٍ ، ظل الشك قائماً حول صحة هـذه النتائـج . ولكن حوالى سـنة 1830 ، كان من المسلم به ان الأسيد فولمينـيك والسيانيك من جهة ، والأسيدات تارتريـك وراسيميك من جهة اخرى، تتجاوب تماماً مع نفس التحليل . وانتهى بريزيليوس ، الـذي ظل لمـدة طويلة يـعـارض اعـطاء ذات التركيب لأجسـام تمتلك خصائص مختلفـة ، انتهى بالاقتنـاع بحقيقة الظاهرة وكرس وجودها باعطائها الاسم الذي بقي لها : «التمـاكب » (Isomérie) .

وسوف يتيح تطور مفهوم البنية انطلاقاً من سـنة 1860 تفسير هذه الملاحظات القديمة . منذ 1823 شعر شفرول Chevreul بالحل لمسألة الأيزوميرات ، كتب يقول : « ان وقفنا عند حدود التجربة لا نرى كيفية اخرى في تصور هذه الحالة الا باللجوء الى ترتيبات متنوعة للذرات او للجزئيات » .

مفهـوم الكربـون اللاتنـاظري (الأسيمتـري) : رأينـا انـه بفضل بـوتليـروف Boutlerov خاصة ، يعطي التطبيق المباشر لتصورات البنيـة ، صورة عن الامكـانيات المتعـددة في مجال تـرتيب السلاسـل الكربونيـة التي تمتلك نفس العدد من الـذرات . ويبقى اعمال او ادخـال الموقـع في فضاء مختلف البدائل عن ذات الكربون ، لتفسير وجود الأيزوميريا (التماكب) البصرية التي تعبر عن خاصّة بعض الإيزوميرات لأنها تُحَرِّفُ الى اليمين أو الى اليسـار، الضوء المستقطب .

ويتعلق الأمر اجمالاً في ترجمة ـ بعبارات البنية ، اي على صعيد الذرات ـ الملاحظات المبدعة التي قدمها لويس باستور حول عدم التناظر التحجري ، بمناسبة الأسيدات الترترية (راجع بهذا الشأن دراسـة ج . أورسيل الفصـل 1 من القسـم 4).

يقول : «نحن نعلم أن اعادة الترتيب الجزيئي في نوعين من الأسيـد الترتـري tartrique، هي غير متناظرة ، هذا من جهة ، ومن جهة اخرى ان اعادة ترتيب هذه هي ذاتها تماماً ، مع فارق وحيد انها تقدم حالات عدم تناظر ذات اتجاهات متضادة . هل ان ذرات الأسيد اليمنى تتجمع وفقاً لدورات مروحة يمينية الالتفاف إذا وضعت في أعلى ترايبدر (رباعي ، أوجه) غير منتظم ، أو إذا رتبت بحسب هذا النوع من التجميع المتعارض المحدد ؟

نحن لا نستطيع الرد على هذه الاسئلة . ولكن الشيء الذي لا يمكن ان يكون موضوع شك هو ـه يوجد تجميع للذرات وفقاً لترتيب غير تناظري ذي صورة غير قابلة للتركيب . والشيء الذي لا يقل تأكيداً عن الأول ، هو ان ذرات الأسيد اليساري تحقق تماماً المجموعة المتعارضة الترتيب المعاكسة لهذا التجمع ».

بين الدعامات المحتملة في تعارض جزيئي ، ذكر باستور التترابيدر غير المنتظم ، ولكن الكربون الرباعي التكافؤ يمكن ان يصور بشكل تترابيدر . يكفي افتراض ان العناصر الأربعة أو الجذور التي يندمج فيها الكربون تقع عند ذروات التترابيدر الأربع ، حيث يكون الكربون في موقع المركز . وإذا كانت هذه البدائل الأربعة مختلفة ، فان هذا المجسم الخيالي قد يتوجد بشكلين غير قابلين للتراكم احدهما هو صورة للآخر في مرآة . هذا التطور الجديد في مفهوم البنية كان من صنع جوزيف آشيل ليبل J.A.Le Bel(1847- 1930) وجاكوبوس هنريكوس فانت هوف Van't Hoff (1852 - 1911) اللذين، أوجدا على التوالي ، سنة 1874 مفهوم الكربون اللاتناظري . إن وجد كربون لا تناظري في خلية ما يجر وراءه الأيزوميريا البصرية .

بنية المركبات العطرية ـ صيغة البانزين :ان نظرية البنية بشكلها الأساسي تطبق على كيميـاء مركبات السلسلة الشحمية اي المركبات المتعلقة بصورة مباشرة نوعاً ما بالأسيدات الشحمية . ومواد السلسلة العطرية التي يعتبر البانزين نمطها الأول ، تطرح مشاكل خاصة لم تعالج حقاً إلا بعد عدة سنوات . كتب كيكولي بهذا الشأن يقول : « ان المواد العطرية ، حتى الأبسط منها هي دائماً اغنى نسبياً بالكربون من الكربونات الدهنية الأخرى . اذ يوجد في المجموعة العطرية مواد مشابهة ، أي اجسام تختلف فيما بينها بالرمز n CH_2، انالأجسام الأكثر بساطة المنتمية إلى المجموعة العطرية تحتوي ست ذرات من الكربون على الأقل . فضلاً عن ذلك ، وتحت تأثير العوامل القوية ، يحصل تحريف دائم ، حتى بالمواد المعقدة نسبياً ، تحريف مواد لا تحتوي إلا على ست ذرات من الكربون (بانزيل ، كحول فنيكية ، آسيد بيكريك ، آسيد اوكسفينيك ، أنيلين ، كينون، كلورانيل ، الخ)».

ان مجمل هذه الوقائع يجب ان يؤدي بالتأكيد إلى افتراض وجود مجموعة مشتركة في المواد العطرية ، نوع من النواة المكونة من ست ذرات من الكربون . . .

واذاً يتوجب قبل كل شيء التثبت من تركيب هذه النواة . والفرضية الابسط التي يمكن اجراؤها في هذا الصدد هي التالية ـ وهذه الفرضية تنشق بشكل طبيعي من مفهوم الذرية الرباعية في الكربون ، بحيث تنتفي ضرورة التركيز عليها بشكل اطول ـ :

« عندما تمتزج عدة ذرات من الكربون فيما بينها ، يمكن ان تجتمع بشكل يمكن كل تآلف في كل ذرة من ان يكتفي دائماً بتآلف من الذرة المجاورة . هكذا فسرت التماثل ، وبوجه عام تشكل المواد الدهنية ».

« ولكن يمكن الافتراض كذلك ان عدة ذرات من الكربون تجتمع وتندمج تباعاً بفعل تآلف أو عدة تآلفات . وإذا كان الاسلوب الأول يفسر تركيب المواد الشحمية ، فالاسلوب الثاني يوضح تشكل المواد العطرية أو على الأقل تشكل النواة المشتركة فيما بينها جميعاً ».

«وبالفعل إذا اندمجت ست ذرات من الكربون فيما بينها وفقاً لهذه القاعدة التناظرية فهي تعطي مجموعة تعتبر كسلسلة مفتوحة لها ثمانية تآلفات غير مشبعة . وبالعكس إذا افترضنا ان الذرتين اللتين

تنهيان هذه السلسلة ، تندمجان فيها بينهما ، نحصل على سلسلة مغلقة لها ايضاً ست تآلفات غير مشبعة » (Bulletin de la Société chim . de France 1865) .

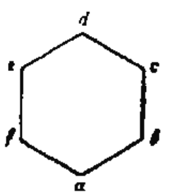
وهكذا لم يقدم كيكولي حتى ذلك الحين مسدسه المشهور . وظهر هذا الأخير لأول مرة سنة 1866. يقول : « بما ان الذرات الست في كربون البانزين مرتبطة فيها بينها بشكل تناظري كامل فهي تشكل دورة كاملة التناظر . ويمكن اذاً تمثيل البانزين بشكل مسدس عند كل ذروة من ذراه يوجد هيدروجين (الصورة رقم 11). ويمكن كذلك تصور انه بالنسبة الى المشتقات التي تتولد بفعل الاستبدال المتتابع تصبح التغييرات الايزوميرية التالية ممكنة مثلاً بالنسبة الى مستحدثات الاستبدال البرومية [نسبة الى معدن البروم] يحصل لدينا : 1 - برومو بانزين وحيد : تغيير واحد . 2 - برومو بانزين ثنائي : ثلاثة تغييرات (a b) (a c) (a d)، 3 - برومو بانزين ثلاثي : ثلاثة تغييرات (a b c) (a b d) (a c c) . 4 - برومو بانزين رباعي : ثلاثة تغييرات (كما في 2)، 5 - برومو بانزين خماسي : تغيير واحد . 6 - برومو بانزين سداسي : تغيير واحد » .

هذا ليس الا مثلاً . وقد تنبأ كيكولي ، خلال هذه المذكرة بالذات بعدد المشتقات البانزينية الايزوميرية في حال وجود استبدالين متنوعين في النواة . وفي السنة التالية طرح احد تلاميذه ، وهو كورنر Körner تسمية الايزوميرات اللا مستبدلة بكلمة اورتو ortho (a b)، ميتا (méta) (a c)، وبارا (Para) (a d)، وبقيت هذه التسميات كلاسيكية .

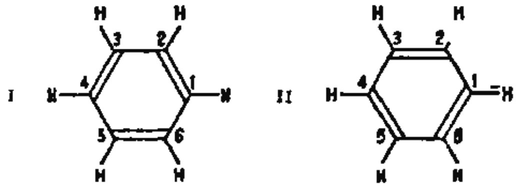
ومنذ البداية ، كما رأينا ، افترض كيكولي انه في نواة البانزين يوجد بين الذرات الكربونية الست تناوب بين الارتباطات البسيطة والارتباطات المزدوجة بحيث تكتفي قاعدة التكافؤ الرباعي . وهذا يعني ان للمسدس الكيكولي فعلاً الصيغة المتمثلة بالصورة رقم 12 - I .

وكان لادنبورغ Ladenburg أول من لاحظ ، ضمن هذه الفرضية ، ان الارتباطين 1 - 2 ، 1 - 6 ليسا متماثلين. وهناك عدد من الصيغ المتناظرة ، قدمت يومئذٍ ، وكانت تتفادى هذه الصعوبة الظاهرة .

وأجاب كيكولي على هذا الاعتراض فيما خصه انه بالنسبة اليه ، تتيح حركة مستمرة في الذرات الافتراض بانه ، في الزمن ، يحتمل وجود صيغة تتوافق مع تنقل مواقع الارتباطات . خاصة وان الصيغة السابقة (الصورة 12 - I) لم تكن قابلة التمييز عن صيغة شبيهة بصيغة الصورة رقم 12 - II . وبعد ذلك بعدة سنوات طرح ارلنماير Erlenmeyer ثم غريب Graebe صيغة للنفتالين تعمم افكار كيكولي لتشمل النوى الأخرى العطرية



صورة 11 ـ مسدس Kekulé.



صورة 12 ـ شكلان متساويان للبانزين بحسب Kekulé

التركيب في الكيمياء العضوية : ـ لا تمكن معالجة مسألة تركيب المركبات العضوية ـ ونقصد بذلك ، في البداية على الأقل ، المواد التي تقدمها الكائنات الحية ـ معالجة مثمرة من قبل كيميائي ما يزال يجهل الصيغ المتطورة او المشتبه بمعناها العميق .

ان النجاحات التي حققت في هذا المجال قبل 1860، قد اقتصرت بالضرورة على اجسام ذات أوزان نواتية حقيقية (تركيب الآسيد فورميك (1856) والميتان (1858) والأسيتيلين (1860)، الخ من قبل برتيلوت Berthelot)، أو إنّها ذات سمة عارضة نوعاً ما (تركيب الأسيد أوكزاليك (1824)، والبولية (1828) من قبل أوهلر Wöhler).

ان نظرية الأنماط ، بمقدار احتوائها على جزء من الحقيقة ، تستطيع مع ذلك المساعدة على تكوينٍ اكثرَ وعياً للجزيئات العضوية : فهي تجعل من الممكن، بشكل خاص، التحكم المنتظم « بالجذور » ـ هذه التجميعات من الذرات التي لم يهتم احد حتى يومها بمعرفة طبيعتها الذاتية ـ (تركيب الهيدوكربورات من قبل فرانكلاند Frankland (1850) ومن قبل ورتز Wurtz، ثم الامينات (1850) من قبل هوفمان A.W. Hoffmann ، الخ).

ولم يكن الأمر كذلك عندما حصلت نظرية بنية المركبات الدهنية والعطرية على تكافئها . فهذه ، من جراء التبني الصناعي لها ، اصبحت بسرعة آلة حقة في الانتاج . وبصورةٍ خاصة صناعة المواد الملونة ، المقصورة حتى ذلك الحين على استخراج المصنوعات الطبيعية أو المرتكزة على تحويلات تجريبية (كما كان الحال، من بين امثلة اخرى،في تحضير الموفيين من قبل بركين Perkin في سنة 1856، او تحضير الفوشين من قبل فرغوين Verguin سنة 1859 واستطاعت الصناعة المذكورة ان تستلحق وأن تعطي قيمة لمشتقات قار الفحم الحجري بفضل سلسلة من التفاعلات اتبع بها مسلك عقلاني، ان اعادة الانتاج في المختبر ، ثم على المستوى الصناعي لمادة آليزارين (غريب Graebe، 1868)، ثم استحضار النيل (بايير Baeyer ، 1880) من بين آلاف المركبات الأخرى الجديدة ابرز نجاح هذه الكيمياء التركيبية التي كان برتيلوت Berthelot زعيمها الفلسفي ، مع رفضه قبول قيمة الآلة العقلية الوحيدة التي كانت تتيح حقاً التحكم بها .

IV - الكيمياء في علاقاتها مع العلوم القريبة

1 - الكيمياء والفيزياء

الحركية الكيميائية ـ ان دراسة الظاهرات الكيميائية المتغيرة مع الزمن ، ودراسة القوانين التي تحكمها هي بالتأكيد أقل مباشرة من الدراسة التي تفترض وجود توازن مستقر. هذه الديناميكية الكيميائية قد أثارت مع ذلك ، وباكراً جداً ، فضول بعض السباقين . وفي أواخر القرن الثامن عشر اهتم ونسل Wensel مثلاً بقياس سرعات المعادن المتنوعة . ولكن توجب انتظار اعمال ويلهلمي (Wilhelmy 1850) حتى تتمركز اسس كيمياء حركية حقة .

فقد بين ج . ب . بيوت J . B . Biot ، حوالي 1835، ان انحرافات الضوء المستقطب ، المقروءة في مقياس الاستقطاب يمكن ان تستخدم في قياس تركيزات محلول السكر . وقد اكتشف ، مع

برسوز Persoz انه بالامكان متابعة تحول خاص في سكر القصب . وكذلك الحصول على عكسه inversion، دون اللجوء إلى طرق تحليلية معقدة، إنما، ببساطة، بمراقبة بشكل مستمر تغيرات القدرة الدورانية في محلول سكر سبق تحميضه . واهتدى ويلهلمي (Wilhelmy) ، متمسكاً بأن يصوغ كمياً مسار هذه التحولات ، الى افتراض ـ انه بالنسبة الى درجة حرارة معينة ، تكون سرعة التحول متناسبة مع تركيز السكر الذي بقي غير ممسوس ، اي بعبارة اخرى ، ان الكمية المحولة بخلال وحدة الزمن تتناسب مع كمية المادة التي لم تتحول بعد ، وكان هذا القانون ، الذي أعطي صيغة رياضية مناسبة ، ذا تطبيق عام . فقد كان ويلهلمي Wilhelmy صاحب الفضل في اللجوء الى تفاعل بطيء نسبياً ، وهذا هو حال أغلب تفاعلات المستحضرات العضوية فيما بينها ، بعكس ما هو حاصل في الكيمياء المعدنية ، حيث تكون التفاعلات في أغلب الأحيان آنية .

ومع ذلك تعتبر حركية تحول السكر بسيطة نسبياً : ويختلف الأمر بالنسبة الى تفاعلية تكوّن الأملاح الاثيرية ، التي درست سنة 1862 من قبل برتيلوت Berthelot وبيان سان جيل Péan de Sant - Gilles . فالأسيد والكحول يندمجان ليعطيا الاستر ester (اي الملح والأثير) والماء ، ولكن التفاعل يتوقف تلقائياً قبل ان تدخل كل الكحول وكل الأسيد في عملية التفاعل .

اننا نجد انفسنا أمام توازن . ويمكن ان نبين ، في هذا الشأن ان الاستر ، مع وجود الماء يولد تحولا معاكساً للتحول السابق ، فيعيد انتاج الآسيد والكحول المولدين .

ومن بين العلماء الذين حولوا هذه النتائج التجريبية الى عبارات نظرية ، يجب بشكل خاص ذكر النروجيين كاتو م . غولدبرغ Cato . M . Guldberg (1836 - 1902) وبيتر واج Peter Waage (1833 - 1900) اللذين اوجدا قانون عمل الكتل (1867) من جهة ، ثم الهولندي فانت هوف Van't Hoff من جهة أخرى . وبفضل هؤلاء تحقق الطموح المسبق الذي راود برتوليت Berthollet ، منذ 1803، في كتابه الكيمياء الستاتية ، في جزء كبير منه .

الكيمياء الحرارية والطاقوية ـ في مجال مجاور وجدت الفيزياء والجهاز الرياضي الذي اقترن بها نقطة التقاء اخرى مع الكيمياء . فقد قام جوليوس طومسن Julius Thomsen (1826 - 1909) ثم برتيلوت Berthelot باعلان وتطوير مبادىء الكيمياء الحرارية ، ان هذا التعميم لعلم الحرارة ، وللحرارة الديناميكية بحيث يشمل التفاعلات الكيميائية كانت له اهمية كبيرة . فقد تطابق ، في أغلب الأحيان في ذهن رواده مع موقف مغاير للذرية ، وذلك بمقدار ما تتعلق الطاقوية بوصف وبتقنين شروط التغيرات في مادة رُفِضَ ان يُبنى عليها أية فرضية مهما كانت . وحرص الكيميائيون على حل هذه المسألة : كيف يمكن لمركب كيميائي ذي بنية معينة ان يتفاعل وما هي المستحضرات الناتجة عن تحولاته ؟ ان المدرسة الجديدة طرحت مشكلة مختلفة : ما هي الشروط (العلاقة بين كتلة الفاعلات مثل الحرارة والضغط) التي يكون فيها التفاعل ممكناً ؟ والرأي كما نرى مختلف بشكل اساسي .

ان مبدأ الحالة الأخيرة وحالة المنطلق ، والمبدأ (المشكوك به تماماً) وهو مبدأ العمل الاقصى الذي يقضي بأن كل تفاعل عفوي يحدث بالضرورة إذا اعطي الحرارة (برتيلوت) ، واعمال ج ويلارد جيبس J . Willard Gibbs المتعلقة بنظرية التوازن الكيميائي (قانون المراحل) يدلان على

النتائج الرئيسية الحاصلة في هذا المجال الواقع بين علمين .

ظاهرات المساعدة (الكاتاليز) : ـ الى هذه المسائل يجدر ربط دراسة ظاهرة ذات أثر كبير ، سواء من الناحية العملية أم من الناحية النظرية : تلك هي ظاهرة (الكاتاليز) أو المساعدة . من المعلوم منذ زمن بعيد ان بعض التفاعلات لا يمكن ان تحدث الا بوجود أجسام لا يبدو انها تشارك بصورة مباشرة في العملية الكيميائية اذ نجدها كما هي في نهاية العملية . هذه الأجسام المساعدة قد تكون ذات طبيعة وذات منشأ مختلفين : فالأسيد الكلوري ضروري لقلب السكر الذي تكلمنا عنه ، والبلاتين المقسم بدقة يتيح اشتعال الغاز المدوي بشكل غير تفجري (دافي Davy) ؛ والخمائر تنتمي الى هذه الفئة من المواد . من وجهة نظر تهمنا هنا لا يعمل المساعد الا على تسريع التفاعلات بشدة ، هذه التفاعلات التي تبدو ممكنة من ناحية الطاقة ولكنها تتم ببطء لا حدود له أحياناً .

هذه الظاهرات حول المساعدة الكيميائية تعمل في مجال الكيمياء الصناعية دوراً من الدرجة الأولى : فهي في أساس اسلوب صنع الأسيد الكبريتي بالملامسة ، أو اسلوب صنع الحامض النيتري بواسطة اكسدة الأمونياك الذي اكتشف مبدأه من قبل كوهلمان Kuhlmann منذ سنة 1839 .

قوانين التحليل الكهربائي (الالكتروليز) . رأينا في السابق الدور التاريخي الحاسم الذي لعبته دراسة الظاهرات التحليلية الكهربائية . ان الأثر المحدث بواسطة مرور التيارات من البطاريات قد سمح لـ دافي Davy ان يعزل العناصر القلوية . وعمم برزيليوس نتائج هذه التجارب فاكتشف صياغة نظريته في الثنائية الكهركيميائية .

وقام فراداي Faraday تلميذ دافي Davy وقد اشتهر باكتشافاته المهمة ، بما يتيح للكيمياء والفيزياء اتصالاً آخر .

وبادخال الطرق الكمية الدقيقة في دراسة التفكيكات الكيميائية المحدثة بفعل التحليل الكهربائي ، توصل الى قوانين رائعة : اول قانون يعلمنا ، انه في جميع الأحوال ، تتساوى كتلة الجسم المتفكك مع كمية الكهرباء التي مرت بالحلقة مهما كان الجسم المحلل المستعمل . والقانون الثاني ان كتل مختلف الأجسام المحررة في مختلف الخلائط الكيميائية ، بفعل مرور كميات من الكهرباء متساوية ، تتناسب مع ما يعادل هذه الأجسام أو مع الأجزاء البسيطة من هذه المتعادلات . وهذا القانون الأخير الذي وضعه فراداي ، يؤدي ، كما نرى ، الى نظام من الأعداد النسبية . ولم يكن هذا النظام نظام الأوزان الذرية . ولم يكن هذا التناقض الا ليثير المناقشات الحماسية في إطار النظريات التي درسناها سابقاً . ولم يرفع هذا التناقض الا ببعض الاكتشافات التي سبق وتكلمنا عنها ، وكذلك باكتشافات أخرى سوف نشير اليها .

الخصائص الفيزيائية للمحاليل : ـ من المعروف ان دراسة الخصائص الفيزيائية للمحاليل قد اتاحت لـ راوولت F .M . Raoult ان يصوغ بين سنة1878 و1890 سلسلة من القوانين الرئيسية (راجع بهذا الموضوع دراسة الار G . Allard ، الفقرة V من الفصل السابق) .

وان نحن اهتمينا بشكل أخص بالمحاليل غير الملحية (التي لا تؤدي بشكل بارز الى الكهرباء)

نلاحظ انه بالنسبة الى مادة مذوبة ، يتناسب ضغط البخار المبثوث من قبل المذيب ، مع التركيز ، وتغيرات نقاط الغليان والتجمد في المذوب تخضع لنفس القانون . وللتوصل الى نفس النتيجة ، يجب إن أخذنا هذه المرة أجساماً مختلفة في مذيب متماثل ، اختيار محلولات رخوة محتوية على وزن معين من كل مادة . ولكن هذه الأوزان ، إذا قورنت ببعضها البعض ، تتيح هي أيضاً وضع نظام من الأعداد النسبية يتناسب هذه المرة مع النظام المنبثق عن قانون الغازات .

هذه القوانين التي وضعها راوولت Raoult ، ليس لها صفة تجريبية عملية . وقد ابرز فانت هوف Van't Hoff سنة 1885 معناها النظري العميق مشدداً بالضبط، على التماثل الموجود بين الجزيئات داخل المحلول السائل والجزيئات في الحالة الغازية. هذا التقارب، أوحي إليه بشكل خاص، بفضل بحوث علماء النبات حول عمليات الامتصاص (راجع بهذا الشأن دراسة لـروا J . F . Leroy ، القسم 5 ، الكتاب 1 ، الفصل 5).

لخص فانت هوف Van't Hoff الملاحظات المقدمة بفضل دراسة الامتصاص ضمن القانون التالي : كل مادة مذوبة تحدث ـ في الحاجز الامتصاصي (نصف التسربي) ـ ضغطاً امتصاصياً يساوي الضغط المستحدث ضمن نفس الحجم بفعل مادة غازية تتضمن نفس عدد الجزيئات. وهذا يعني ـ بالاستناد الى فرضية آفوغادرو Avogadro ـ انه في الحالة الغازية أو حالة الذوبان ، يحدث نفس العدد من الجزيئات مهما كان نوعها الموجودة في حيزٍ ذي حجم واحد، وفي نفس درجة الحرارة، نفس الضغط على الأطراف التي تحتويها.

ارهنيوس Arrhenius وتفارق التحاليل الكهربائية : ـ ويبقى مع ذلك وجوب تفسير السبب في عدم انطباق قوانين فانت هوف Van't Hoff وراوولت Raoult على المحاليل الالكتروليتية . لماذا يتجمد محلول الملح البحري مثلاً ، في درجة حرارة أدنى من محلول السكر من ذات التركيز الجزيئي؟ . كل شيء يحدث في هذا الشأن كما لو كان الملح البحري قد تفكك جزئياً الى مكونين يثبتان كلٌ على انفراد، قوانين راوولت Raoult، ويقول آخر كما لو أن جزيئات الملح «كلورور السوديوم» قد انشطرت الى ذرات السوديوم أو الكلور ، بحيث لا يحتوي المحلول المذوب من الملح الا ذرات من مكوناته، في الحالة الحرة. وبعد تجاوز كره الكيميائيين القول بوجودٍ مفترضٍ لذرات السوديوم في حال وجود الماء (في حين يتفاعل المعدن في الماء بعنف اقصى) تجرأ سفانت ارهينيوس Svante Arrhenius (1859 - 1927)، في سنة 1887، أن يأخذ هذه الفرضية بعين الاعتبار . فقال بأن ذرات السوديوم والكلور المقدمة بفعل تفكك جزيء الملح تكون في وضع خاص: انها تشحن بالكهرباء وتشكل ايونات (هذه النظرية اثارها أيضاً بووير E.Bauer الفصل 4 من هذا القسم). وبفضل هذه النظرية الجريئة الثبتة سريعاً بفضل جملة احداث ، اصبح من الممكن فهم مجال تطبيق قانون راوولت بصورة أفضل ، لأن التفكك الى أيونات يختلف بشكل واسع بحسب طبيعة الملح المدروس . هذا التفكك يتصل مباشرة بقابلية التوصيل الكهربائي الذي يمكن ان يساعد على قياس هذا التفكك .

وهكذا وجد علم جديد هو الفيزياء الكيميائية ، على حدود الكيمياء بالذات فاثبت النظرية الذرية . وبعد ذلك وقبله امكن الافتراض بانه عندما يتكلم الفيزيائيون والكيميائيون عن الذرات فان

الأمر يتعلق بنفس الواقع الموضوعي الذي يجده المجربون في نهاية المساعي التي كانت تبدو في الأصل بدون روابط مشتركة .

2 - الكيمياء وعلوم الحياة

منذ نشأة الحقبة العلمية قامت علاقات وثيقة بين الكيمياء وعلوم الحياة : ان استخراج ودراسة المستحضرات من النباتات والحيوانات هما اللذان اعطيا اسم الكيمياء العضوية . وبهذا الشأن افترض بعض علماء القرن الثامن عشر ، امام تعقيد هذه المواد العضوية ، ان الطبيعة وحدها قادرة على انتاجها ، وانه يستحيل على الكيميائيين ان يحلوا محل القوة الحيوية . هذه الحركة الحياتية ، التي علمها رجال امثال برسيليوس Bersilius وليبيغ Liebig الخ ، لم تقاوم ـ على الأقل بهذا الشكل المعتقدي والمبسط ـ تطور المعرفة . فبعد 1828 حقق فردريك وهلر Friederich Wöhler تركيب البولية (الأورية) انطلاقاً من المادة المعدنية . وربما اننا ركزنا كثيراً على الأهمية الفلسفية لهذه المعتقدات الحيواتية ، والواقع ، اذا كانت هذه المعتقدات قد وجدت بشكل غير منكور فانه من السهل ذكر عدد كبير من الكيميائيين الذين لم يقبلوها ، والذين كانت لهم حتى قبل تركيبة اوهلر Wöhler ، حول هذه النقطة افكارٌ عقلانية جداً .

ومهما يكن من امر ، وحتى لو لم ننظر الا الى النتائج النهائية للنشاط الكيميائي في الأجسام الحية ، فقد ثبت سريعاً ان هذه المواد النهائية لا تختلف في جوهرها عن المستحضرات التي ينتجها الانسان في المختبرات . ولكن هل ان التفاعلات الكيميائية الخاصة التي تلجأ إليها الحياة تخضع للقوانين العامة التي نفهمها نحن ونسيطر عليها ؟

بين لافوازيه Lavoisier ، اثناء بحوثه حول الاوكسيجين ان التنفس هو اكسدة : وقد شبه الكائن الحي بمركب كيميائي حقيقي عندما كتب :

« عندما يكون الحيوان في حالة تمدد وراحة ، بحيث انه بعد عدة ساعات لا يعود الجهاز الحيواني يشعر بأي تغيير محسوس ، عندها يعزى حفظ الحرارة الحيوانية ، في جزء كبير منه على الأقل ، الى الحرارة التي يحدثها اختلاط الاوكسيجين المأخوذ بالتنفس ، بالقاعدة من الهواء الثابت (ويقصد هنا الكربون والمواد الكربونية) التي يقدمها الدم » .

ان الطاقة الفيزيولوجية تتولد اذاً من الاحتراقات البطيئة في المواد المسحوبة من الوسط الذي يعيش فيه الكائن الحي . وهذه المواد الغذائية بالذات يهضمها الجسم ، ثم بعد ان تكون قد لعبت دورها يخرجها بشكل بقايا . وهذه العمليات الحيوية في مجملها تدخل في نطاق الكيمياء ولا تخرج عن صلاحيتها .

وبخلال القرن التاسع عشر بيّن جان باتيست بوسنغولت Jean - Baptiste Boussingault (1802 - 1887) بصورة خاصة ان الآزوت يشكل أحد العناصر الأساسية في الاقتصاد الحيواني او النباتي ، ورسم في خطوطها الكبرى الحلقة التي يجتازها الآزوت .

وتأخذ الحيوانات الآزوت اللازم لها مباشرة من النباتات إذا كانت الحيوانات اعشابية ، أو

بصورة غير مباشرة إذا كانت لحومية . والنباتات نفسها تثبت الآزوت الفضائي ، بواسطة بعض البكتيريا ، بفضل عملية ذات طبيعة بدائية أو مساعدة

ودور الخمائر في دراسة الظاهرات الكيميائية التي ترافق مظاهر الحياة ذات مفعول رئيسي . واسم باستور Pasteur مربوط تماماً بتاريخ هذه القضية . وبالفعل وكما رأينا سابقاً ، بواسطة هذه المساعدات تظهر البكتيريا عملها .

نأخذ مثلاً محلولاً سكرياً : وبعد اضافة كمية بسيطة من الخميرة التي تنتشر سريعاً ، يتكون كحول . واعتقد باستور ان النشاط الحيوي في خلية الخميرة يتدخل ، لأننا إذا قتلنا هذا النشاط بمادة سامة يتوقف الخمران . وقبل هذه الأعمال بسنوات ، كان برتيلوت Berthelot ، بالعكس من ذلك يعتقد ان هذه الخمائر يمكن ان تعمل بمعزل عن كل مساند حي .

ولدعم هذا الرأي ، عزل من اللعاب، مادة الأنفرتين invertine التي تحول المذوبات السكرية الى مزيج من السكر ابسط . وقبله كان انسلم باين A.Payen وج . ف . برسوز Persoz قد اكتشفا ، منذ 1834 الدياستاز الذي ساعد على تكون الدكسترين والسكر انطلاقاً من النشاء . واعطى برتيلوت Berthelot لهذه المواد ، التي أخذت تنضاف اليها مواد اخرى بصورة تدريجية اسم الانزيمات . وهذه المساعدات الحيوية لها تركيب معقد جداً ولكنها لا تتسم بأية سمة حياتية . ولا يشكل المثل الذي درسه باستور حول التخمر الكحولي سنة 1857 استثناءً : ففي سنة 1897 توصل ادوار بوكنر E. Buchner (1860 - 1917) ، بعد جهود بدت ناشطة بسبب عدم استقرار المادة المنتوجة ، توصل إلى عزل الدياستاز الكحولي الذي يحتفظ بكل فعاليته بغياب اية خلية خميرية

3 - الكيمياء والطب

ان التكاثر السريع للمواد الجديدة المعروفة ـ بسبب تقدم الكيمياء العضوية بشكل خاص ـ سوف يبرز ابتداءً من النصف الثاني من القرن ، ليطبع بداية تأثير عميق وممتد احدثته الكيمياء على الطب .

في بادىء الأمر ، كانت الملاحظات في أغلب الأحيان عفوية عرضية ، وأصبحت ، فيما يتعلق بمفاعيل بعض المركبات على الجسم الحي ، وبسرعة ، موضوع دراسات منهجية . ومن جهة اخرى حصل الصيادلة (الذين ظلوا طيلة القرن يقدمون للتعليم وللبحث احتياطياً من الكيميائيين المميزين جداً) ، على المبادىء الفعالة ، في حالتها النقية ، والموجودة في الأدوية الكلاسيكية ، وعزل سرتورنر Serturner المورفين سنة 1806، اما « الاتروبين » فقد تم الحصول عليه متبلراً سنة 1833 . وفي سنة 1823 اكتشف بلتيه Pelletier وكافنتو Caventou الكينين . وأدى التثبت من الخصائص التخديرية في الأوكسيد النيتري (غاز الهذيان)، والأثير والكلورفورم، الى انقلاب في الممارسات الجراحية .

وابتداءً من هذه اللحظة سوف يتداخل قسم من تاريخ الكيمياء مع تاريخ الطب . ولا نستطيع بهذا الشأن الا ذكر بعض التواريخ الابرز :

(1867 ـ استعمل ليستر Lister الفينول كمطهر وسنة 1869 اكتشف ليبريخ Liebreich المفعول المنوم لمادة هيدرات دي كلورال .

وفي سنة 1876 بين ستريكر Stricker ان الأسيد ساليسيليك له خصائص مخدرة .

وفي سنة 1899 اكتشف دريزر Dreser الخصائص التخديرية والطاردة للحمى في الأسيد آسيتيل ـ ساليسيليك ، اي الاسبرين .

وفي سنة1833 اكتشف كنور Knorr الانتيبيرين . وفي سنة 1897 جرِّب الاوكايين في مفعوله التخديري الموضعي . وبآن واحد أدى تطور كيمياء المواد الملونة المدهش الى احداث أثر في علم الانسجة أولاً ، ثم في الاستطباب ثانياً ، وبشكل ضخم . وحوالي سنة 1880، وفي الوقت الذي اصْبحت فيه الملونات الصناعية منتوجات تستخدم يومياً ، بفضل صناعة مزدهرة (خاصة في ألمانيا) ، لاحظ علماء الأنسجة أن بعضاً من هذه المنتوجات لها تآلف انتقائي تجاه هذا أو ذاك من التشكل الخلوي . وكانت هذه الملاحظة في أساس الأعمال المهمة التي قام بها بول اهرليخ Paul Ehrlich (1854 - 1915) وهو موجد العلاج الكيميائي (واقترح اسمه سنة 1891). ولم ترتكز فكرة احداث اثر سام انتقائي ، على بكتيريا تصيب وسطاً حياً ، وذلك بفضل ملون يظهر انه يتشبث بها خاصة ، هذه الفكرة لم ترتكز بالفعل على تفسير صحيح . الا انها ، رغم ذلك كانت في أساس عدد كبير من الأعمال التي تساعدت فيها الكيمياء مع الطب ، متعاونين لمواجهة قضايا جديدة ولتحقيق نجاحات جديدة .

وقبل نهاية القرن بقليل (1895)) بين اهرليخ Ehrlich ان ازرق الميتيلين يمتلك نشاطاً حقيقياً ضد عامل الملاريا .

* * *

استنتاج ـ في خلال هذه الحقبة التي بدأت ـ إذا قبلنا كنقاط ارتكاز كيفية ولكن تيسيرية ـ بالهام ابداعي نزل على دالتون Dalton ، وانتهت بالتركيب التجاري للنيلة ، ازدهرت الكيمياء ازدهاراً مدهشاً في كل مجالات التطبيق التي سوف تصبح بعد كل ذلك مجالاتها .

ان مكتسبات العلم الخالص قدمت ابعاداً لم تكن مأمولة ، لصناعة فتية ولدت في أواخر القرن الماضي تحت شعار التجريبية . وما اصطلح على تسميته بالصناعة المعدنية الكيميائية الكبرى ، كان أول من استفاد من التطورات النظرية التي تفحصنا شبكتها وأصبح انتاج واستهلاك الأسيد سولفوريك ، كما قيل ، المؤشر الامين على درجة حضارة شعب باكمله . وفي ما بعد اعطى توظيف « نظرية البنية » في المجال العملي للصناعة الكيميائية العضوية اشارة الانطلاق نحو امتلاك أسواق جديدة كانت بدورها خالقة لاحتياجات جديدة . وقد عملت كيمياء المواد التلوينية بشكل خاص على إرباك قطاعات بأكملها في الصناعة العالمية . في سنة1897 ، وحتى لا نذكر الا مثلاً واحداً ، صدرت انكلترا أحد عشر ألف طن من النيلة الطبيعية الآتية من الهند . وصدرت ألمانيا ستمائة طن من النيلة الاصطناعية ، وفي سنة 1911 لم تصدر انكلترا الا 860 طناً في حين قدمت ألمانيا للعالم اثني وعشرين ألف طن من الملونات الصادرة عن مصانعها .

هذه الثورة في العلاقات بين العلم وتطبيقاته ظهرت بمظاهر متعددة . لقد كان الانتاج يطلب من الجامعات ومن المعاهد الخاصة كادرات من التقنيين والباحثين المتكاثري العدد: وأصبح تطوير التعليم وتحديثه مطلباً اقتصادياً كانت ألمانيا أولى الدول التي فهمت وجوبه . فإلى جانب مصانع الانتاج ، انشأت المشاريعُ الكبرى مختبراتٍ صناعيةً وخصصت رساميل ضخمة بحثاً عن المنتوجات القابلة للمتاجرة ، وهي مصدر جديد للربح ولكنه أيضاً مصدر للمعرفة

وفُهم بعد ذلك انه في داخل هذه الشبكة التي تزداد ضيقاً ، من التفاعلات بين العلم والمجتمع عمل تشريع براءات الاختراع ، (الذي اختلفت الذهنية بالنسبة إليه بين بلد وبلد : مرة يشجع الحكر ، ومرة يشجع المنافسة ضمناً) ، لعب هذا التشريع دوراً مهماً في تاريخ الكيمياء الحديثة . وبفضل هذا التشريع بشكل خاص ، وفي ظروف يتجاوز تحليلها إطار هذا الكتاب ، عرفت الكيمياء في سويسرا نهضة غير متوقعة بقدر ما هي عظيمة .

الا ان طبيعة النشاط الكيميائي تلقت بخلال هذا القرن نقلة عميقة . فالاستاذ ، المحاط بتلاميذ كثر يعون المستقبل الذي يفتحه امامهم التعلم ، والمدير العلمي او الاستاذ المستشار في منشأةٍ نشيطة، قلما اصبحوا يشبهون الحرفيين المعزولين ، أو الهواة الاغنياء الذين وضعوا الأحجار الأولى لعلم الكيمياء .

واكتسب المختبر ، بشكل غير محسوس صفته العصرية ، وحدد لمهنة االكيميائي اطارها الجديد وفتح امامها امكانيات جديدة . وعملت اكتشافات بدت تافهة مثل اكتشاف حرّاق بونسن (Bunsen) بالنسبة الى التدفئة بالغاز ، أو اختراع مضخة الماء (التي اتاحت بفضل المياه الجارية ، التقطير في الفراغ والعصر)، على التأثير الذي لا يمكن اهماله ، في الانتاج العلمي .

وعرف النصف الثاني من القرن ، الى جانب « حوليات الكيمياء المعهودة الكلاسيكية » الفرنسية والألمانية (والحوليات الألمانية اسمها ليبيغ Liebig) المجلات الكبرى الدولية التي تبقى حتى أيامنا هذه أدوات نشر العلم المحدث :

- Journal of Chemical Society of London (1849).
- Berichte de la Société Chimique de Paris (puis de France) (1864).
- Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft (1868).
- Journal of the American Chemical Society (1876).

وبالاختصار ، وقبل 1900 بقليل ، اصبح هناك جهاز علمي فعال في كل مظاهره ، سوف يتيح التعمق في دراسة الواقع الذري ، الذي لم يعد حقيقة تخفى على الكيميائيين ولا على الفيزيائيين .

القسم الرابع

علوم الأرض

في مجال علوم الأرض حقق القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر انجازاً مهماً وذلك عن طريق تعدد وتحسين الملاحظات والاوصاف ، بعد التميز التدريجي لادارات الدراسات الرئيسية ، وبعد مباشرة المحاولات الاولى العقلانية في التفسير ، دون التخلي عن الحذر المفهوم .

ان الأعمال الاكثر بروزاً في أواخر القرن الثامن عشر هي اعمال غيْتار Guettard وبوفون Buf-fon ، وجيروسولافي Giraud - Soulavie وهـ. ب. سوسور، H.B. Soussure، وهوتون Hutton وورنر Werner ، وكذلك أولى أعمال و. سميث W. Smith ، وكلها تشهد لأهمية التقدم المحقق في مجال الجيولوجيا . أما علم التعدين فلقد بقي في مرحلة أقل تقدماً ، ولكن النهضة السريعة في الكيمياء الحديثة ، وفي صياغة مبادىء علم التبلر فتحت المجال أمام تطوره . ورغم الجهود المبذولة للتحرير ، والجارية بفعل ضغط الفلسفة العقلانية ، فلسفة عصر الأنوار ، بقي علم المتحجرات ، مقصوراً عملياً على دراسة « المسنونات » (وهي العديمة الفقريات المتحجرة) ، علماً متواضعاً تابعاً للجيولوجيا .

ان هذه الفروع المختلفة للعلم ، المتصلة اتصالاً وثيقاً إلى حدٍ ما بالجغرافيا الفيزيائية، وبالعلوم الفيزيائية أو بعلوم الطبيعة ، عرفت في القرن التاسع عشر نهضة ضخمة ، هذا التطور وُسِمَ بآنٍ واحدٍ بتوسع ثم بتميز سريعين لحقل البحوث ، وكذلك بتحقيق تقنيات واضحة في مجال الرصد ، ثم بوضع مناهج عقلانية للعمل ثم بشكل خاص بتحرر نهائي تجاه علم اللاّهوت .

هذا التوسع وهذا التخصص المتناميان حملانا على دراسة منفصلة لتطور المجالات العلمية الرئيسية المجموعة حتى ذلك الحين تحت الاسم المبهم « علم المعادن » . وهكذا في هذا القسم الرابع المخصص لعلوم الأرض سوف ندرس تباعاً تقدم العلوم المنجمية وتقدم علم الجيولوجيا

ان علم المتحجرات رغم بقائه احد الروافد الرئيسية بالنسبة الى عالِم الجيولوجيا ـ فإن انشاء علم المتحجرات ذات الطبقات وتطوره السريع هما الدليل على ذلك ـ واقترب علم المتحجرات بحلال

تطوره اكثر فأكثر من علوم الحياة . ان التطورات الموازية ، في بداية القرن ، والتي دخلت على علم التشريح المقارن وعلم المتحجرات المتعلق بالفقريات ، وكذلك فوز نظرية « التطور »، بخلال النصف الثاني من القرن ، كل ذلك يدل فعلاً على أن دراسة النباتات والحيوانات المتحجرة لا يمكن ان تنفصل عن دراسة الكائنات الحية الحالية .

من هذا الواقع ، ورغم ان بعض جوانبه قد رُسمت بإيجاز في الفصل المخصص للجيولوجيا ، فإن نهضة علم المتحجرات سوف تُدرس بصورة رئيسية في القسم الخامس المخصص لعلوم الحياة . هذه التجزئة الظاهرة تتبع بايجاز الخطوط الموجهة للتاريخ .

ان دراسة ما قبل التاريخ البشري ، وهو خلق حقيقي من ابداعات القرن التاسع عشر ، يرتبط بآنٍ واحد بعلم المتحجرات وبعلم أُصول الانسان وبعلم الأثريات ، ورغم ان تاريخ الانسان المتحجر يرتبط بمجريات الأحداث المتنوعة من العصر الجيولوجي الرابع ، فهو أي التاريخ ، لا يمكن فصله عن دراسة علوم الحياة . ان الروابط الضيقة التي تربطه بنظرية التطور تبرز بشكل خاص بفعل ان هذين الفرعين من العلم ، كان عليهما لكي يتكونا بقوة ان يتغلبا على نفس العقبات وعلى نفس المقاومة البائسة .

الفصل الأول

العلوم المنجمية

ان العلماء في القرن الثامن عشر خصصوا لعلم المعادن مجالاً واسعاً لأنهم اعطوا لهذا العلم ، من الناحية العملية مجمل المعارف المتعلقة « بالمملكة المعدنية » .

ولكن المعلومات تراكمت ، وعلوم الأرض أخذت تتكوّن بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين مع أهدافها الخاصة ، ومفاهيمها ونظرياتها وقوانينها التي تسمح بتعريفها في حالتها الحاضرة . هذا التفريق يجب ان لا يغيِّبُ عن نظرنا الوحدة الاساسية لهذا المجمل الواسع من المعارف ، وهو انعكاس قابل للتحسين باستمرار ، لوحدة التفاعلات التي تجري في القشرة الأرضية .

والواقع ان كل مجالات علوم الأرض ، وحتى القسم من علم النجوم الذي يعالج تكون وتشكل الكواكب ، تقتضي ، لكي تنمو ، معرفة عالم المعادن . ان هذه الأهمية الأساسية في علم المعادن تنبثق عن كون الصخور مكوّنة من معادن ترابية ، وان هذه المعادن هي في طور التغير منذ الأزمنة الأكثر قدماً في تشكل كوكبنا . هذه التغيرات بدت اثناء التطورات البنيوية التي يجب اعادة تركيبها عند مختلف مستويات تنظيم المادة الأرضية ، وهي تتوافق مع الكتل الصخرية الكبيرة في القارات وفي سلاسل الجبال وفي تجمعات اتربة المعادن التي هي الصخور ، وفي تجمعات الذرات التي هي أتربة المعادن (الركازات) .

وعلى كلٍ ان هذا المفهوم العام جداً للبنية ، لكي يكون مثمراً يجب ان لا ينظر اليه بشكل متحجر ، جامد ، بل يجب ان يساعد على إعادة رسم التاريخ ، تاريخ هذه التحولات ثم التنبؤ بصيرورتها ومستقبلها . إذ أمام هذه المستويات المختلفة من التنظيم والملاحظة ، تعبر علوم الأرض عن قوانين التغييرات والتوازنات المؤقتة بين عناصر المادة الأرضية ، تغيرات تجري تحت تأثير التقلبات في ظروف الوسط ، تبعثها المفاعيل الطاغية لهذه العوامل القوية الفيزيائية والكيميائية التي هي الماء والضغط والحرارة الداخلية في بطن الأرض .

ان علم الجيولوجيا يبحث في المظهر وفي بنية المجملات الكبرى من الصخور التي تشكل القشرة الأرضية ، كما يضع جدولا بتغيراتها في إطار الفضاء ـ الزمن (ان تاريخ الجيولوجيا في القرن التاسع

عشر يُـدرس في الفصل التالي من قبل ر . فورون R . Furon) . وعلى مستوى ملاحظة التراكمات في أتربة المعـادن والتي تشكل الصخـور، يأتي علم وصف الصخـور (بتروغـرافيـا): دراسـة التـركيب المعدني ـ الترابي للبنية ولولادة وتطور هذه التراكمات ، عن طريق التغير الكيميـائي والتبلر ، والتشوه الميكانيكي . وأخيراً ان علم المعادن وعلم المتبلرات يعمقان البحوث حول اتربة المعادن التي تشكـل الصخور ، وبدراسة الوسط المتبلر ، تدخل الى اعماق البنية الذرية للحالة الجامدة .

ان دراسة التوجهات الرئيسية في تطور العلوم المعدنية ـ الترابية والمتبلرات بخلال القرن التاسع عشر تتيح لنا ان نلاحظ صفة الشمول في هذه العلوم

* * *

نتائج اكتشـافات رومي دي ليسـل وهاوي Romé de l'Isle et d'Haüy : ـ في فجـر القرن التاسع عشر كان هاوي Haüy في أوج شهرته . وبفضل تصوره للجزيء الدامج ، جعل علم التبلر يقفز مرحلة حاسمة ، وأعطى لعلم المعادن قواعده الحقيقية بفضل تعريق اجناسها .

في كتاب له مشهور حول فلسفة علم المعادن وحول النوع المعدني العلمي ، ظهر سـنة 1801 ، طور ديودات دولوميو Déodat Dolomieu ، بشكـل مختلف عن الشكل الـذي اعتمده هـاوي ، كل النتائج حول الهوية التي وضعها هذا الأخير ، بين مفهوم النوع المعدني ومفهوم الجزيء الدامج . لا شك ان هناك مصاعب كثيرة ما تزال موجودة في علم البلورات ، ولكن هاوي قد رسم دروباً جديدة وأقام بطمأنينة طريقة عمل ما تزال قوتها ثابتة حتى اليوم .

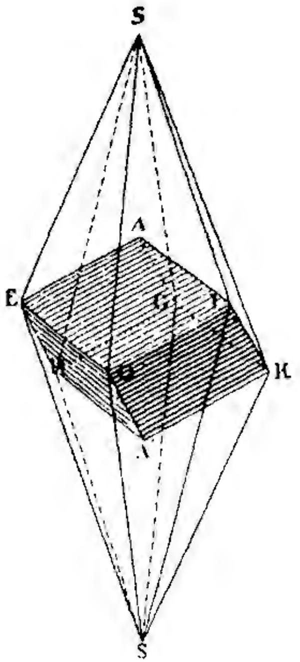
ونجد في عمل هاوي نوعين من الاهتمامات مرتبطين احدهما بالآخر : فهناك أولاً دراسة البنية البلورية لذاتها ، وهناك من جهة اخرى ملاحظة الأنواع المعدنيـة واتحاداتهـا في الطبيعـة ، وتجمعاتهـا (بشكل صـخور أو تربة معادن) .

ان مكملي هذا العمل قد تابعوا بحوثهم في مجالين ، إنما بتخصص في احدهما أو في الآخر . ومنذ تلك الحقبة ظهرت إذاً التقسيمات الأولى الفرعية لعلم المعادن مرتكزة بصورة أسـاسيـة على الخصائص التبلرية والفيزيائية في أتربة المعادن ، وعلـى خصـائصها الكيميـائية ، وعـلى أنماط المنـاجم الترابيـة ونشأتها .

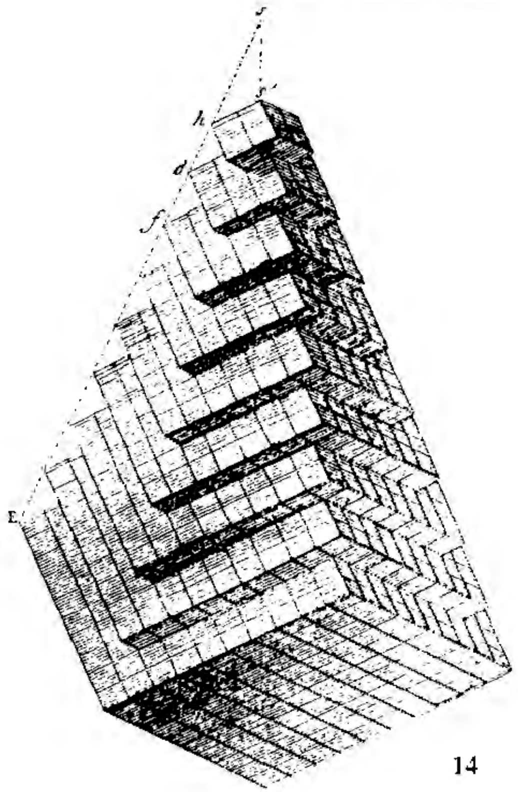
I - علم التبلر الجيومتري والبنية التبلرية

ان الطبعة الاولى لكتاب « علم المعادن » الذي وضعه هاوي سـنة 1801 كان له تأثير وازن على بحوث علماء التبلر في بداية القرن التاسع عشر لأن هاوي تفحص في هذا الكتاب نتائج اكتشافاته السابقة التي وسعها أيضاً في كتابه « كتاب علم التبلر » 1822. انه في سنـة 1815 استخرج قـانون التنـاظر أو السيمترية عـلى أساس القيـاسـات العـديدة التي قـادتـه إلى قـانـون التنـازلات (صـورة رقم 13و14) . هذان القانونان هما ثمرة جهوده الدائبة وتتويج لبناء عقائدي جيل .

ورغم وضوحها لم تقبل نظرية هاوي بدون تحفظات من قبل علماء التبلر غير الفرنسيين، وخاصة



13



14

صورة 13 . ـ نواة معيّنية الشكل لكلس مكربن داخل أخمعيّة (« كتاب علم التبلّر » ، هاوي) .

صورة 14 . ـ مثل عن التنازلات في نظرية هاوي (مرور نواة معيّنية الشكل لكلس مكربن إلى الأخمعية (« كتاب علم التبلر » ، هاوي) .

علماء المدرسة الألمانية . فقد فتش هؤلاء عن صيغة اخرى في قانون مناطق ويس Weiss المرتكز فقط على الفكرة المجردة نوعاً ما حول أنواع التناظر. وميز ويس في (دينامية التبلر Dynamische Ansicht der Krystallisation ,1804)طبقات من البلور جمعها ضمن سبعة أنظمة تميزها فروقات في محاور المراجعة . ان الأوجه البلورية قد عينت بمؤشرات محسوبة سنداً للعلاقات بين القطع التي تحدثها هذه الأوجه فوق هذه المحاور .

ولكن قانون مناطق ويس يعبر عن قانون هاوي حقاً ، إنما بشكل اقل قرباً من العقل ، ان قانون التنازلات القائل بأن أضلاع مطلق شكل متبلر يجب أن تقطع ضمن علاقات بسيطة وعقلانية بوجوه شكل آخر مطلق ، من ذات النظام الذي يضاف إلى الشكل الأول ، قد سماه علماء التبلر الألمان باسم قانون « عقلانية المؤشرات » أو قانون « الجذيعات العقلانية (Troncatures) » وهو الاسم

الذي بقي له . ان هذا القانون ليس في الواقع الاّ تكملة للحكم المتخذ كـأساس لنـظرية تنـازلات هاوي . وهذه النظرية هي بدورها نتيجة الملاحظات حول الانفساخ ، وهي ملاحظات مفسـرة ضمن الفرضية الذرية .

وهذه القاعدة الفيزيائية بالضبط هي التي تجعلها مثمرة والتي ظل علماء التعدين الألمان مدة طويلة يرفضونها . إذ أنهم لم يأخذوا بالاعتبار الاّ الشكل الخارجي للبلورات ، جاعلين من علم التبلر علماً جيومترياً خالصاً كما كان أيام رومي دي ليـسل Romé de L'Isle [1] .

وهنـاك مدرستـان نشأتـا ، الأولى ذات استلهام فيـزيائي والأخـرى ذات توجه جيـومتـري ومفاهيمهما بعد تطورها ، اندمجت اخيراً لكي تشكل البناء الحالي المتسق .

المورفولوجيا البلورية : (**علم التشكل**) ـ الاّ ان كـل علماء التعدين في تلك الحقبـة كانـوا ينتبهون كثيراً لوصف ولتصنيف الاشكال المتبلرة (المورفولوجيا البلورية) .

ان أهمية هذه القياسات المتزايدة الدقة لزوايا المتعدد الجوانب من البلورات ، قد عرفت ، فقد تم التوجه الى تقنيات اكثر دقة من تقنية القياسات الذي طبقه كارانجوت Carangeot .

في سنة1809 أظهر و . هـ . ولاستون W.H . Wollaston مقياسـه للزوايا ذي الانعكـاسات فوق محور دائري ، افقي ، وحدد بشكل خاص بـواسطة هـذه الآلة زوايـا بلورات الكلسيت . ومن جهتهما، قام و . فيليبس Philips الذي استعمل مقياس زوايا ولاستون واتيان مالوس Etienne Malus الذي فضل عليه دائرة التكرار(أو مقياس الزوايا ذي المحور العامودي) الذي وضعه بوردا Borda بقياس عـدد من البلورات ووجدا في أغلب الأحيان فروقات بارزة بالنسبة إلى طروحات هـاوي ، وفيما بعد بقليل تم استعمال مقياس الزوايا الانعكاسي الذي وضعه بابينت Babinet ، المزود بمنظار ذي بؤرة قصيرة يسهل قياس البلورات المتناهية في الصغر .

وفي أواخر القرن التاسـع عشر ظهر مقيـاس الزوايـا ذي الدائـرتين الذي وضعه غـولدشميت V. Goldschmidt و أ . ف.فيدورف E . V . Fedorv (1893) الذي أتاح قياسات أكثر سرعة .

وبخلال القرن التاسع عشر جمع علماء التبلر عدداً ضخماً من المعطيـات العددية التي شكلت الأساس الضروري من أجل تصنيف الأشكال والتناظرات البلورية ، وبالتالي وضع نظرية حول بنية البناءات البلورية . هذا العمل الضخم قد حقق ضمن وحدة ملحوظة في المسارات العقلانيـة للفكر وسنداً لمقارنات في الرؤى النظرية والرصد أو الملاحظة .

وكما يذكر أ . مالار E . Mallard ، ان الاهتمام من قبل قـادة المدرسـة الألمانيـة وهم : ويس Weiss ، وروز Rose، ونومان Nauman، بصورة خاصة ، والمنصب على المـظهر الجيـومتري لعلم التبلر كانت له « نتيجة حسنة » :

(1) يجب ان نشير إلى ان أحد مزايا مذكرة ويس انها أظهرت لأول مرة فكرة أهمية الاتجاهات كمميزات للحالة البلورية ، وهي فكرة يعبر عنها اليوم بعبارة « الخصائص السهمية المتقطعة » للوسط البلوري .

« ان الجيومتريا التي دخلت كسيدة الى مجال العلم ، جلبت معها نظرياتها وأساليبها والحسابات المتعبة التي قام بها هاوي ، قد استبدلت بحسابات انيقة وسريعة؛ان الطرق الذكية ، طرق المناطق ، والاسقاطات الستيريوغرافية التضخمية والتصغيرية [فن تصوير الأجسام الصلبة على سطح مستوٍ] والمزاوية [النيومونية Gnomonique] جاءت تقدم اغراءً للفكر في ضلال البلورات المعقدة ، الصعب غالباً ».

وفي سنة 1808 خطر لـ ج . ج . برناردي J.J. Bernhardi ان يعتبر وينظر لا الى الأوجه أو إلى محاور المناطق كما فعل ويس ، بل نظر الى المستقيمات التي ، وهي تنطلق من نقطة مركز الجهاز ، تكون عامودية على الأوجه . وفي سنة 1821 أدخل ج . هوسمان J . Haussmann التريغونومترية الكروية في الحسابات البلوغرافية [او تدوين التبلر]. وطورف . ن . نيومان F . N . Neumann تماماً هذه الأفكار . فاستخدم كسطوح اسقاطية أيَّ سطح وجهٍ مؤاتٍ في متعدد الأوجه البلوري ، أو سطح الكرة المتخذة مركزها كمنطلق لعواميد على السطوح . ان أوجه البلور تمثل هكذا بنقاط تلاقي الخطوط العامودية منها مع سطح الاسقاط (Beitrage Zur Krystallonomie) . ان طرق الاسقاط والرسم التي اقترحها نيومان Neumann ـ رغم انها قد اعيد اختراعها في سنة 1829 من قبل ج ج . غراسمان J.G. Grassmann ـ لم تجتذب الانتباه الا عندما استعملها من جديد و . هـ . ميلر W.H.Miller و . ف . آ . كنستدت F . A . Quenstedt.

وطور ميلر Miller ـ وهو يرتكز على أنظمة الرسم البلوغرافي التي وضعها لامي Lamé وخاصة هيول Whewell (1825) اللذان كانا يجهلان اعمال برناردي Bernhardi وويس ـ مكاسب الاسقاط التضخيمي (الستريوغرافي) بدقة ووضوح حتى إن كتابه « حول البيلوغرافية » (لندن ، 1839، ترجم الى الفرنسية في باريس سنة 1842) قد غطى سريعاً على الكتب الأخرى من ذات النوع . ان ترقيمه البلوغرافي معتمدٌ اليوم عالمياً ، رغم ان علماء التعدين الفرنسيين قد فضلوا على ترقيمه ، لمدة من الزمن ترقيم ارمان ليفي Armand Lévy (1837) المرتكز على الأشكال الأولية عند هاوي .

وفي سنة 1830 بين ج ف.ش. هسل J . F. Ch . Hessel انه لا يمكن ان يوجد الا 32 نوعاً من التناظر في متعدد الوجوه البلوري ، وان محاور التناظر وحدها من النظام 4,3,2, و6 ممكنة ولكن هذا الاكتشاف ، لم ينتشر الا سنة 1891 على يد ل . سوهنكي L. Sohncke .

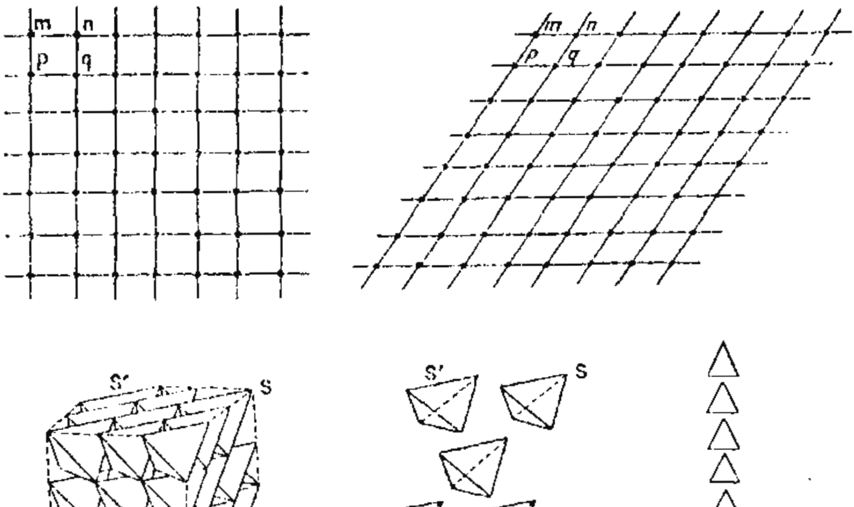
البنية البلورية : ـ ولكن البلورات ليست كائنات جيومترية مجردة . ان شكلها تعبير محسوس عن بنيتها .

وبالعودة الى مسار الفكر الذي اتبعه هاوي في بداية اعماله ، بين ج . ديلافوس G . Delafosse (1769 - 1878) انه يجب التمييز بين الجزيء الدامج والجزيء الكيميائي . وبحث عن العلاقات القائمة بين الشكل والبنية واستخلص مفهوم الشبكة البلورية ، الموجودة ضمناً في مفاهيم هاوي .

وبالعودة إلى التحليل العقلي عند هاوي حول الانشقاق ، قرر :« انه داخل البلور تكون الجزيئات متباعدة بشكل تناظري ؛ بحيث تقدم في مجملها نوعاً من الصورة الخماسية أو بصورة أدق ، صورة

شبكة متتالية ذات زردات متعددة السطوح والأوجه » ؛ويبيِّن «ان الجزيء الدامج - جزيء هاوي - ليس الاّ اصغر متعدد الأوجه والسطوح المكوِّن فيما بين الجزيئات المجاورة بحيث يشكل كل منها الذرة ، أو بمعنى آخر ليس الجزيء الدامج الاّ تمثيلاً للفرجات الصغيرة بين الجزيئات أو الزردات في الشبكة البلورية . وهو إذاً متميِّز تماماً عن الجزيء الفيزيائي الذي يمكن أن يكون له ،بل له غالباً ، شكل آخر مختلف تماماً. ان الجزيء الدامج هو العنصر الذري الحقيقي في الجسم ، بمعزل عن كل اعتبار للحالة البلورية : ان الجزئية الدامجة ليست الاّ العنصر في بنيته الجيومترية ، عندما يبدو بهذا الشكل الخاص » . . .

« وتثبت الجزيئات في الرؤوس التي نتكلم عنها [عُقَدْ الشبكة] لا بشكل غير متزعزع بل في حالة توازنية مختلفة الاستقرار . . » (حول بنية البلورات ، 1840 ؛ بحوث حول التبلر منظوراً اليه في علاقاته الفيزيائية والرياضية ، 1843).



الصورة رقم15 ـ الشبكة البلورية كما رسمها ديلافوس : صفوف من الجزيئات يتدنى تناظرها عن تناظر الشبكة (شرح النصف ـ سطحية في البوراسيت) . ان طرفي المحور الثلاثي في مكعب البوراسيت لا يتشابهان فيزيائياً . ح . ديلافوس ، البحوث حول التبلر ، 1843)

وأحل ديلافوس Delafosse بدلاً من مفهوم استمرارية المادة ، المقبول ضمناً من هاوي ، مفهوم اللاّاستمرارية واستطاع ، وهو يحاول الوصول إلى حقيقة الجزيء الفيزيائية في ترتيب الذرات التي تكوِّنها ، الدخول بصورة أعمق مما فعل هاوي ، الى جوهر البلور بالذات ، فاعطى زخماً جديداً لعلم البلورات .

وبالفعل توصل الى معرفة كيفية تأثير الاشكال المختلفة التي يمكن ان تكون عليها هذه الجزيئات، على النتيجة النهائية لعملية التبلر . هذا التأثير يكفي لتفسير الخروج المزعوم على قانون التناظر في بعض الأنواع شبه المعدنية مثل البيريت والبوراسيت والتورمالين والكوارتز الخ . وبيّن هذا التأثير أيضاً أن نظامين بلورين مختلفين يمكن ان يكون لهما اشكال مختلفة ، لأن التمايز الحقيقي بينهما يرتكز على اختلافهما في البنية على صعيد الجزيء. واقتنع ديلافوس Delafosse بجدوى النظرية الذرية فانتقد الصفة الجيومترية الخالصة في نظرية المدرسة الألمانية ، كما انتقد الفلسفة الميتافيزيكية « عند الحركيين » وهي الفلسفة التي ركز ويس المدرسة المذكورة عليها ، وهي فلسفة تتعارض تماماً مع المذهب الذري .

ويشكل عمل ج . ديلافوس مرحلة حاسمة في نمو علم التبلر في القرن التاسع عشر ولكن بحوثه الصبورة والعميقة كسفت بالعمل البراق الذي قام به أوغست براڤي Auguste Bravais (1811 - 1863) الذي إليه يعود الفضل في تقديم التطورات الأولى لنظرية المجاميع الشبكية ، كما اعطى الجهاز الرياضي الذي يمكّن من توضيح سمات هذه المجاميع .

وفي مذكرة له أولى (1848) درس براڤي Bravais بادىء الأمر ، ومن وجهة نظر جيومترية خالصة بنية وتناظر الأجسام المتبلرة مختزلاً كل جزيء بمركز ثقله النوعي ، واعتبر البلور كمجموعة من النقط . ومن الملفت ان نلاحظ ان مسائل رسم التنظيم النباتي ، وخاصة مسألة ترتيب الأوراق حول الجذع ، هي التي قادت براڤي الى ان يبحث عن الخصائص العامة التي يتمتع بها مجموع منتظم من النقاط في الفضاء .

ووضع القوانين التي تنظم العلاقات بين تناظر الجزيء البلوري و تناظر الشبكة المختارة ، فميز بين اثنتي وثلاثين طبقة من التناظر البلوري موزعة على سبعة أنواع من المجموعات الشبكية التي تتطابق مع سبعة أنظمة بلورية قال بها هاوي ومع اثنين وثلاثين نوعاً من متعددي الأوجه البلورية قال بها هسل Hessel .

وبيَّن « ان ظاهرة الانغلاق ، وظاهرة الظهور الكثير الحدوث نوعاً ما لهذه الأوجه أو تلك مرتبطتان بالثقل النوعي للنسيج الشبكي للأوجه » . ان قانون براڤي هذا بدا مثمراً جداً . فهو يتطابق مع حقيقة موضوعية وهو يتيح استخراج القوانين التي تربط الخصائص الفيزيائية والجيومترية لهذه الأوساط .

في « دراساته البلورية » (1851) عالج براڤي دراسة الظاهرات العامة التي تدور حول الجزيء. وأوضح ان هذا الجزيء هو نظام من النقط ، متعدد الأوجه حقيقي ، مزود كالبلور ذاته بسطوح تناظرية وبمحاور تناظرية . . الخ ، وانه تجاه تناظر جزيئي معين تتوافق بنية بلورية معينة أيضاً . وان التناظر المسبق الموجود في متعدد الوجوه الجزيئي هو سبب التناظر الملحوظ في المجموع البلوري . وهذا يفسر الظاهرة المسماة « نصف سطحية » كما اعلنها ديلافوس أولاً . ومع ذلك ترى نظرية ديلافوس وبراڤي ان الوسط البلوري هو متجانس وان الجزيئات المكونة كلها متوجهة بنفس الشكل . وهذه النظرية لا تتوافق تماماً مع بعض الأحداث مثل الاستقطاب الدوار ومثل وجود بلورات يمينية ويسارية ، في عدة مواد ، تشبه البلورات التي سبق ودرسها باستور . ويبدا انه من اللازم لاكمال هذه النظرية

افتراض وجود ، في البنية البلورية ، زيادة على متعددات الأوجه الجزيئية ذات الاتجاهات المتنوعة والمتراكمة ، متعددات أوجه غير قابلة للتراكم بفعل عمليات التناظر المقبولة عادة .

وبالارتكاز على هذه الاعتبارات قام الرياضي الفرنسي ك.جوردان C. Jordan سنة 1869 ثم ل . سوهنكي L . Sohnke (1879 و1888) وآ . م . شونفليز A . M . Shoenflies (في النظام البلوري والبنية البلورية) (Krystallsysteme und Krystailstruktur , 1891) و ا . ف . فيدوروف E . V . Fedorov (1885 و1895)ووليم بارلو William Barlow (ابتداءً من 1888) ثم بيار كوري Pierre Curie فاقترحوا البحث عن كل التركيبات من الأشياء الموزعة ضمن فضاء غير محدود وغير ملائم مع متطلبات التناسق البلوري .وكان من الواجب من أجل التوصل إلى ذلك ، توسيع شروط التناظر الموضوعة من قبل برافي ثم التطلع إلى وجود ، ليس فقط المحاور التناظرية من رتبة 4،3،2 و6، أو إلى مراكز أو سطوح التناظر، ولكن أيضاً إلى المحاور اللولبية والى سطوح الانزلاق والتناظر التنقلي .

هذه النظرية حول البنية وضعت تماماً من وجهة نظر رياضية من قبل شونفليز وفيدوروف Fedorov . Schoenflies اللذين قررا وجود 230 مجموعة تناظرية أو مجموعات فضائية ، إلا ان تطبيق هذه النظرية على الحقيقة الفيزيائية التي يشكلها الوسط البلوري قاد الى معضلة ان نحن اقتصرنا على مفهوم متعددات الأوجه الجزيئية (برافي Bravais ومالار Mallard)، أو على مفهوم الجزئية البلورية المعقدة المحدَّدة من قبل واليرانت Wallerant انطلاقاً من معطيات نظرية شونفليز حول تشابك الشبكات المتوافقة (في المجموعات الفضائية) ومفهوم المجال الأساسي (القسم من الفضاء البلوري الذي لا يوجد بداخله أي عنصر من عناصر التناظر) .

وفي سنة 1904 لاحظ جورج فريدل Georges Friedel ان هذا المفهوم يرتكز على فرضية نوعين من الأعمال بين الجزئيات المادية المتنوعة :التآلف الذي يجمع الذرات فيحولها إلى جزيئات، ثم التماسك البلوري الذي يجمع بين الجزيئات ليجعل منها بلورة.وبدلاً من المحافظة على فرقٍ واضح بين هذين العملين ـ داخل الجزيء البلوري ـ فضّل القول بوجود عامل ، متنافر أساساً ، ومركب من جزئيات مصفوفة على مسافات مختلفة ان الشبكة هي بناء هندسي يبنى انطلاقاً من نقطه ما في وسطٍ ما وتبقى دائماً على حالها مهما كانت النقطة المنتقاة . وعلى صعيد الملاحظة المتعلقة بالمسافات الذرية تزول التناسقية إذ لا يعود بالامكان اعتبار كل نقاط البناء البلوري متماثلة فيما بينها .

ان نظرية البنية البلورية قد توصلت اذاً إلى درجة عالية من الكمال الا ان لا شيء يسمح بافتراض امكانية التوصل الى سر ترتيب المادة داخل عنصر بلوري . سوف نرى ان القرن العشرين بعد اكتشاف تنافر أشعة X بواسطة البلور (فون لو 1912 , Von Laue) قدم الاثبات التجريبي على النظرية الشبكية .

مجموعات البلورات أو الكدورات ، والابنية البلورية المعقدة : ـ عدا عن البلور ، وهو بناء بلوري متماسك ، يوجدعدد كبير من البناءات البلورية الأكثر تعقيداً (تسمى كدورات) مؤلفة من عدة أقسام متناسبة ومجتمعة وموجهة بعضها بالنسبة إلى البعض الآخر وفقاً لقوانين محددة تماماً . وقد ظن اكثر المشتغلين بالتعدين قديماً أن هذه المنتوجات الطبيعية ناتجة عن تلاصق نصفين من البلورات ادار

احدهما ظهره للآخر (مفهوم التبلر النصفي) .

والواقع ان مثل هذا التجمع يتوافق مع بناء بلوري حقيقي ومفرد ولكن القانون العام بالنسبة إلى الكدورات والذي عرفه هاوي والذي أعلن عنه في بعض الحالات براڤي ، ووسعه فاشمله العديد من حالات البلورات الميكروسكوبية مالار E . Mallard ، وطوره واليرانت F . Wallerant انطلاقاً من اعتبارات من عناصر التناظر الاقصى (1899) ـ هذا القانون العام لم يضع بكل عموميته الا من قبل ج . فريدل G . Friedel سنة 1904 . والكدورات الحاصلة بالفعل الميكانيكي ، والمكتشفة من قبل روش Reusch سنة 1867 ، والمدروسة فيما بعد من قبل بومهور Baumhauer ومن قبل موغج Mügge متماثلة تشبه الكدورات التي تحدث فعل التبلر وهي تتبع نفس القانون العام .

II - الخصائص الفيزيائية لاشباه المعادن

1 - الخصائص البصرية للبلور

الانكسار المزدوج : ـ في سنة 1672 نشر برتهولين E . Bartholin اكتشافه للانكسار المزدوج في سباث إيسلندا . وفي سنة1674 ، قدم هويجن Huygensتفسير ذلك في نظريته حول التموجات . إن تجربة في موشورين سداسيين من السباث، تصورها، ورصد خصائص اربع صور للمصدر حاصلة هكذا، تبعاً لمواقع نسبية في هذين الموشورين ، قاداه [اي التجربة والرصد] الى ترقب الحالة الخاصة في ضوء شعاعين منحرفين (حالة « الاستقطاب »، تبعاً للتعبير المستعمل في كتابه « دراسة حول الضوء» (1690) . وعلى كل بدت هذه الحالة غير متلائمة مع فرضية التموجات في اتجاه الشعاع ، واستنتج نيوتن منها ان شعاع الضوء يتكون من جزيئين مزودين بنوع من الاستقطابية .

ولكن بخلال القرن التاسع عشر نمت بصورة تدريجية المعرفة بالعلاقات الحميمة القائمة بين تناظر البلورات وخصائصها الانكسارية المزدوجة .

واكتشف مالوس Malus الاستقطاب بواسطة الانعكاس (1808) ثم عاد إلى فكرة نيوتن فشبه «الجزيء الضوئي »بالمغناطيس بحيث أنه يكتسب قطبين واتجاهاً كلها محددة . وصمم مالوس عدة أجهزة لدراسة الاستقطاب بواسطة الانعكاس أو بواسطة الانكسار المزدوج. ودرس عدة بلورات متنوعة وعرف ان الشعاعين المنكسرين هما مستقطبان تتالياً ضمن سطوح متعامدة فيما بينها . وفي سنة 1811 اكتشف آراغو Arago ودافيد بروستر David Brewster مستقلين الاستقطاب التلويني في الشفرات الرقيقة البلورية ، مما أعطى لعلم التعدين طريقة حساسة جداً لاكتشاف وتتبع انكسارية الضوء المزدوجة .

وفحص ج ـ ب . بيوت J - B . Biot ود . بروستر الخصائص البصرية في العديد من البلورات . وقرر بيوت الفروقات بين البلورات ذات المحور الواحد وذات المحورين، السلبية والايجابية. واكتشف بروستر ولاستون Wollaston صور التداخلات التي تتيح بسهولة التمييز بين هذه الفروقات .

ان هذه البحوث ، التي بينت الرابط بين الخصائص البصرية والجيومترية في الوسط البلوري ،

قد جمعت من قبل بروستر ضمن مجموعة مهمة تحت اسم « في قوانين الاستقطاب والانكسار المزدوج في الأجسام البلورية المنتظمة » (1818). وعند درس الأمثلة العديلة وتقرير الرابط بين الخصائص البصرية « والشكل البدائي » للبلورات اكتشف بيوت بعض اخطاء عند هاوي وخاصة في حالة الجص وقدم ترابطاً مقنعاً بين الشكل وبين الخصائص البصرية في البلورات الموحدة الخواص والمتباينة الخواص ولكنه لم يستطع التوصل تماماً إلى الترابط بين المواد ذات المحور الثنائي .

وعلى اساس نظرية تموج الضوء نجح فرنل Fresnel بشكل باهر في تفسير ترابط الخصائص التي درسها بروستر ، وبيوت وآراغو . ولعب كتابه « حول الانكسار المزدوج »(1827) دوراً أساسياً في تطور الابصار البلوري النظري . وهكذا ، وبخلال خمس عشرة سنة توصلت الدراسة المنهجية للخصائص الابصارية للبلورات إلى درجة عالية من الكمال .

وبيّن سينارمونت Sénarmont، وهو يدرس البلورات الكاملة المتكونة من عدة أنواعٍ من الجزيئات (بلورات مختلطة تسمى ذات أشكال موحدة) ، في سنة 1851، ان املاحا موحدة الاشكال كيميائياً وهندسياً يمكن ان تكون لها خصائص ابصارية متنوعة جداً، ومتغيرة باستمرار تبعاً لنسب الأملاح داخل المزيج . وكانت تجاربه التركيبية تهدف إلى البحث عن أسباب عدم ثبوتية الخصائص الأبصارية ضمن بعض المجموعات الطبيعية من أشباه المعادن من أمثال الميكا والزبرجد . وأثبتت ارصاده حول المحاور الابصارية في « الميكا » توقعاته .

وكان دي كلوازو Des Cloiseaux في فرنسا الناشر الحقيقي للطرق الابصارية ، فادخل تحسينات على ميكروسكوب آميسي Amici ونورنبرغ Nörrenberg البدائيين وغير المريحين ، واللذين كانا قيد الاستعمال يومئذٍ . ثم في ثلاث مذكرات (1857 ، و1858، و1869) فحص الخصائص الابصارية في 468 شبه معدن أو ملح واكمل اعمال غريليش Grailich وفون لانغ Von Lang ، فدرس في الضوء الأبيض التشتت في البلورات ذات المحاور المزدوجة والمثلثة المتنافرة ، وقدم تعريفاً لثلاثة أنماط من التشتت : المائل والافقي والمتصالب .

وطور بحوث « سينارمونت Sénarmont » حول الخصائص الابصارية في السلاسل ذات الشكل الموحد وركز على أهمية هذه الخصائص في تعريف الاجناس شبه المعدنية ، خاصة بالنسبة إلى مجموعة الفلدسبات التي كرس نفسه لها طيلة اكثر من عشرين سنة . ويعتبر انجاز كلوازو الأساس المتين لعلم الحجارة الحديث . وقد أتاحت مقرراته الصبورة الجارية حول مقاطع سميكة ذات اتجاه معروف مباشرة تطوير دراسة الصخور ذات المقاطع الرقيقة وذات الاتجاه الحر .

الاستقطاب الدائري : ـ في سنة1812 لاحظ بيوت في الكوراتز بعض مفاعيل الاستقطاب التي تبدو معزوة إلى دوران سطح استقطاب الضوء النازل . ولكنه ، كنصير لنظرية الجسيمات الضوئية ، لم يستطع العثور على تفسير معقول لملاحظاته . وفرنل هو الذي قدم ، مرتكزاً على نظرية التموجات ، تفسيراً كاملاً للاستقطاب الدائري . وفي السنة التالية درس بيوت الاستقطاب الدائري في مختلف البلورات وفي السوائل العضوية واكتشف وجود اتجاهين في الدوران يمين ويسار ، واعلن القانون الذي يربط زاوية الدوران بالاتجاه الذي يتبعه الضوء ، وبالسماكة المجتازة ثم بطول الموجة .

واكتشف ج هرشل J . Herschel ، وهو يظن ان هذا الدوران الابصاري معزو لانعدام التناظر في الشكل وفي البنية ان بلورات الكوارتز هي في أغلب الأحيان ذات أوجه شبه منحرفة (الاوجه المسطحة Plagièdres عند هاوي Haüy) الموضوعة بشكل تكون فيه أوجه بعض البلورات أوجهاً بالنسبة إلى سطح ذي أوجه تقطع بلورات أخرى .وبيّن العلاقة بين هذا الترتيب والدورانات اليمينية واليسارية للضوء من خلال البلور .وإذاً يوجد علاقة بين الاستقطاب الدائري والبنية البلورية . ان الاستقطاب الدائري للكوارتز وكذلك استقطاب كلورات الصودا قد درست من قبل الدكتور مارباش Marbach . واكتشف كلوازو استقطابات السينابر وسولفات الاستركنين . ولكن الاستقطاب الدائري في محلولات بعض الاملاح العضوية بقي ظاهرة فيزيائية غريبة على علم التبلر لو لم تقر اكتشافات باستور حول الأسيد تارتريك وحول التارترات العلاقة بين هذه الخاصة التي أظهرها محلول هذه الأجسام والأشكال الخاصة التي ترتديها هذه الأجسام وهي في حالة البلور (1848 - 1852).

وارتكز كلوازو على اكتشافات بيوت وآراغو وهرشل فعمل على بلورة التارترات المزدوج للسوديوم والامونيوم المرزامي [العنقودي] غير الناشط في حالة الذوبان ،وحصل على صنفين من البلورات ذات الأشكال غير القابلة للتراكم (enantiomorphes) كانت صور بعضها البعض في مرآة . وبعد فصل البلورات بعناية بواسطة العدسة ، هذه البلورات التي لها نصف سطح يميني عن البلورات ذات نصف السطح اليساري لاحظ ان الأولى يجب ان تكون دائماً إلى اليمين من سطح استقطاب الضوء والثانية دائماً إلى اليسار . وبعد عزل آسيدات مجموعتي التارترات ، اكتشف انها في حالة الذوبان مزودة بدوران ذي اشارات ، ثم بعد ترتيبها وخلطها بكميات متساوية أعاد استحداث الأسيد غير الفعال .

وعندها أصدر باستور الفرضية القائلة بأن ترتيب الذرات في جزيئات هذين المركبين هو أيضاً ثنائي الشكل (راجع بهذا الشأن دراسة ج . جاك ، القسم 3 ، الفصل 7، الفقرة III) .

وبتنويع ظروف تجاربه حول تضاعف التارترات ، أشار إلى امكانية استحداث جسم يميني اصطناعي بواسطة الجسم الأيسر المتوافق وبالعكس .

تغير الخصائص الابصارية تحت تأثير الحرارة : ـ بيّنت تجارب بروستر Brewster وميتشرليك Mitscherlich انه في بعض البلورات تتغير زاوية الوجوه وزاوية المحاور الابصارية، واتجاه سطحها تبعاً لدرجة الحرارة التي تخضع لها هذه البلورات . وأوضح نيومان Neumann هذه الخاصية بالنسبة الى الجص والبورق Borax. وضاعف دي كلوازو تجاربه حول كل الأجسام ذات المحور المزدوج التي درسها . فوجد بشكل خاص ان « الاورتوز » يتغير بشكل مماثل ويصبح التغير دائماً عندما تتجاوز درجة الحرارة سبع مئة درجة سنتغراد ، وهذه الملاحظة مفيدة بمقدار ما تحتوي بعض الصخور البركانية هذا النوع من « الأورتوز » الذي اطلق عليه اسم الاورتوز المشوه .

وهناك أشباه معادن أخرى تحتوي على تربة نادرة (اورتيت ، وغادولينيت واكسينيت الخ) ، تصبح في حالة الالتهاب عند بلوغها درجة معينة . وأطلق عليها كلوازو اسم المعادن «البيرونومية Pyrognomiques »، ثم بالتعاون مع دامور Damour درس الظاهرة التي تنتجها والتغيرات في الخصائص الابصارية التي ترافقها. وفي القرن العشرين تبيّن ان الخصائص الخاصة في هذه أشباه

المعادن (المسماة ميتاميكت من قبل بروغر Brögger سنة 1893) هي مرتبطة بوجود عناصر مشعة

استقطاب الاشعاعات أو ظاهرة اختلاف الألوان ، وتلون البلورات : ـ في سنة 1819 درس بروستر بشكل منهجي امتصاص الضوء في البلورات . وبين انه في البلورة ذات المحور الواحد يقل الامتصاص الى الحد الادنى في اتجاه محور الابصار ويبلغ الذروة عندما يكون الاتجاه عامودياً على هذا المحور ، ولكنه لم ينجح في التثبت من القوانين المعقدة التي تحكم الامتصاص في البلورات المزدوجة المحور .

ان أغلب الملاحظات حول تعددية الألوان قد حصلت في تلك الحقبة بواسطة صورتين مستقطبتين بزاوية قائمة ، قدمتها العدسة الديكروسكوبية التي صنعها هيدنجر (Haidinger) .

ان التجارب الأولى حول تعددية الألوان في البلورات الملونة اصطناعياً يعود الفضل فيها إلى سينارمونت (1854) الذي بين ان مطلق مادة ملونة منتشرة ضمن الشبكة البلورية ، وغريبة عن تركيبتها وعن بنيتها ، يمكن أن تجعلها متعددة الألوان الى اقصى حد ، كما يفعل « التورمالين Tourmalines » .

أما أصل تلوين أشباه المعادن الطبيعية ، فقد افترض عموماً ، منذ عصر هاوي ان الألوان العارضة في أشباه المعادن الصوانية وخاصة الأحجار الثمينة تعود إلى تسرب اكسيدات المعادن (مثل الكروم والحديد والمنغانيز الخ) وفيما بعد قدم بعض المؤلفين (امثال ليفي وفورنت وجانيتاز Jannettaz) فرضية وجود مواد ملونة عضوية من نوع الصمغ ، وهي فرضية أثبت عدم صحتها ، ما عدا بعض الاستثناءات النادرة .

الشذوذات الابصارية : ـ اعطى تطبيق الطرق الابصارية لدراسة أشباه المعادن معنىً جديداً لاستعدادات العلماء المختصين . ومع ذلك يعثر على حالات خلافية بين النظرية والتجربة ، فبعض المواد ذات التناظر المكعب أظهرت تشتيتاً مزدوجاً للضوء واضحاً . وبدت مواد أخرى مزدوجة المحور عندما لم يظهر تناظرها إلا محوراً واحداً . وعندما جمع ر . برونز R . Brauns (1891) جميع الحالات المعروفة ، بين اميل مالار E . Mallard ان البلورات غير الطبيعية تتألف من أقسام متمايزة ذات تناظر يقل عن تناظر المجموعة على أن تكون الأقسام المتميزة مصفوفة بشكل بناء اكثر تناظراً .

وبحث مالار حول سبب هذا التجمع أيضاً . وفي الماضي بين باستور ان أي صنف شبه معدني من شأنه أن يولد بلورات تنتمي إلى نظامين مختلفين ، فان الشكل الأكثر تناظراً هو شكل حدي او مقترب من الآخر ، وعمم مالار هذا المفهوم للتناظر الحدي فاشمله التجمعات الشبكاتية واستنتج منها تفسيراً للكدورات أو الرواسب وكذلك محاولة لتفسير تعددية الاشكال (Polymorphisme) .

2 - خصائص فيزيائية أخرى

الثقل النوعي (الثقل) الصلابة والتمدد : ـ بيَّن شارل دوفيل Ch . Deville ان أشباه المعادن الصوانية تخسر من 6 إلى 10 بالمئة من ثقلها الأول عندما ننقلها من حالة التبلر الى حالة الزجاج واستنتج من ذلك ان عملية التبلر تتم بتكثيف ضخم للمادة .

ومنذ الملاحظات التي قدمها هويجن وقدمها العديد من العلماء الألمان (امثال : م . ل . فرنكنهيم M .L . Frankenheim، وسيبك Seebeck وف . نيومان . ول . سوهنكي Sohncke . L وفرانز وج . غريليش Grailich)عرف ان الصلابة، المقدرة عموماً بواسطة السكليرومتر Sclérométre ليس لها نفس القيمة في كل نواحي نفس البلور ، وان تغيرات الزخم تتناسب مع التناظر . وفي سنة 1865 قدم هوغيني Hugueny تعريفاً اكثر دقة لهذه الخاصية وقرر طرقاً جديدة لتحديدها وميز بين التماسك أو الصلابة العادية والتماسية .

ويعود الفضل إلى فيزو Fizeau بسلسلة من المذكرات الجيدة (1866) حول التغييرات التي تحدثها الحرارة في الحجم وفي الخصائص البصرية للأجسام الصلبة . فبيَّن ـ في الأنظمة ذات اكثر من محور تناظري ـ وجود ثلاثة اتجاهات رئيسية (محاور حرارية) تتماثل مع محاور المطاطية البصرية ومع المحاور البلوغرافية .

التوصيلان الحراري والكهربائي : ـ بعد تذويب تدريجي لطبقة رقيقة من الشمع البكر المستقرة فوق سطح من الشفرات البلورية ذات الاتجاهات المختلفة لاحظ سينارمونت (Sénarmont) ان التوصيلية الحرارية مرتبطة بتناظرية البنية البلورية (1847) . ووسع فون لانغ Von Lang (1866) وجانيتاز E . Jannettaz (1873) هذه البحوث فاشملاها العديد من البلورات . وهكذا تم التوصل إلى مفهوم السطح التحاراري (المتولد من حرارة ثابتة تتوافق عناصر تناظرها مع عناصر البلور بالخصائص الابصارية) . وبشكل مماثل بين سينارمونت بواسطة جهاز بديع هذا الترابط بالنسبة الى التوصيلية الكهربائية (1849).

الكهربائية الحرارية والكهربائية الضغطية (Pyroélectricité et Piézoélectricité) ـ عرف هاوي ان التورمالين والبوراسيت يتكهربان بالحك أو التسخين ، وان ظهور هذه الكهرباء الحرة تبدو ذات علاقة مع بعض اجزاء البلور وقدم ب . ريس P . Riesse وج . روز G . Rose (1843) فكرة المحاور الكهربائية والأقطاب ذات الاشارات المتعاكسة في حين ربط ديلافوس Delafosse هذه القطبية الكهربائية بمفهومه لصفوف الجزيئات نصف السطحية في البنية البلورية . .

واكتشاف الكهربائية الضغطية من قبل ب . وج . كوري Curie(1881) قدم تأكيداً لهذه الفكرة وذلك عند اثبات ان الضغط أو الشد الحاصل باتجاه محور كهربائي ينمي الكهرباء كما يفعل تغير درجة الحرارة .

المغناطيسية وعكسها : ـ ان الخصائص المغناطيسية في أشباه المعادن كانت بخلال القرن التاسع عشر موضوع بحوث خاصة قام بها بصورة رئيسية ديلس Delesse وادمون بيكيريل E. Becquerel. وفي مذكرة حول المغناطيسية القطبية لاشباه المعادن والصخور (1849) عرف ديلس ان الكثير من اشباه المعادن غير الحديدية هي ذات مغناطيسية ، وانه ، في بلور ما ، ليس لتوزيع القطبين أية علاقة بهذه المحاور البلّوغرافية . ودرس بيكيريل مفعول المغناطيسية على كل الأجسام مما قاده إلى تدخيل مفعول الأوساط المجاورة في تفسير الظاهرات المغناطيسية .

التوهج الفوسفوري والتوهج الفليوري : ـ هـذه الخصـائص المعروفة منذ زمنٍ بعيـد كانت مـوضوع دراسـات ملحوظـة من قبل ادمـون بيكيريـل . . وبيّن ، بـواسطة جهاز خاص، « المرصد الفوسفوري » ، ان مدة التوهج الفوسفوري تختلف باختلاف الأجسام ، فأصدر الفرضية بأن التوهج الفليوري ليس إلا توهجاً فوسفورياً مـدته قصيـرة جداً . وقـد بينت البحوث الـلاحقة صحـة هذا المفهوم .

حت البلور ونموه : ـ من أجل تحـديد تنـاظر بعض البلورات عنـدما تعـوزنا الـطرق الأخرى استعمل بعض الكتاب علاقات التناظر التي تظهر بـين صور التـآكل ، الحـاصلة لبعض أوجه البلور المـدروس ، وبـين عنـاصر هـذا البلور (ليـدولت Leydolt، 1854؛ ف. بيلك Becke، بـومهـور Baumhauer ، Hابتداء من 1869 ؛ لافيزاري L . lavizzari 1865) .

ومن بـين البحوث الاولى حـول نمو البلورات وشـروط تطور الأوجـه البلورية نشـير إلى اعمال ب . كوري حول تكون البلورات ، والثوابت الشعـرية في مختلف أوجههـا ، ثم أعمال م . ويسكي M . Websky وآ . سكـاشي A .Scacchi وآ . هـ . ميرز H . A . Miers حـول « الأوجه المـتصلة (Vicinales)».

III - الخصائص الكيميائية في أشباه المعادن ، البلوغرافية الكيميائية

ان البحوث المتعلقة بالتركيب الكيميائي لاشباه المعادن قد تطورت بخلال القرن التاسع عشر ، مرتبطة بدراسة التركيبات الكيميائية وتحديد صيغها الذرية . وعلى كل ومنذ القرن الثامن عشر أعـاد كابيلر M .A . Cappeler الاشكال البلورية لعدة مواد اصطناعية ؛ في حين وصف رومي دي ليسل Romé de L'Isle عدة مستحضرات كيميائية متبلرة وبيّن ان سلفات النحاس وسلفات الحديد يمكن أن يندمجا ليتبلرا (1772) .

ودرس نيكولا لبلان Nicolas le Blanc (1742 - 1806) الـذي اشتهر بـاكتشافـه أول طريقـة لاستخراج الصودا من كلورير الصوديوم ، مع فوكيلين Vauquelin شروط تبلر عدة أملاح ولاحظ على نموذج حجر الشب ان شكل البلورات يتعلق بطبيعة المحلول (قلوي أو حيادي) هذه الطبيعـة التي تتـولـد فيهـا هـذه الأمـلاح ، وأنـه من جهـة أخـرى يمكن استبـدال قسـم من الألـومـين بـ « سـكي ـ أوكسيد » الحديد ، أو البوتاس بالأمونياك .

التشاكلية أو التماثل في الشكل : ظن هاوي ان كل مادة كيمائية لها أسلوبها الخاص في التبلر وأن كل أشكالها تنبثق عن شكل أولي بدائي . وكانت منزلته بحيث قبل هذا المبدأ منه بما يشبه الاجماع رغم الاستثناءات العديدة التي جمعها الرصد والملاحظة . وأتاح المنقل (مقيـاس الزوايا) الانعكاسي الـذي وضعه و . هـ . ولاستون W.H.Wollaston (1809) القيـام بقياس للزوايـا لحد الـدقيقـة تقريباً . ولكن هاوي رفض قبول القياسات الجديدة التي لا تتوافق مع تنبؤاته .

ولكن في سنة 1815 بين ج . ن . فون فوشJ .N . Von Fuchs ، إنه بالامكان اعطاء الجهلنيت

($Ca_2 AL_2 SiO_7$) صيغة بسيطة إذا افترضنا أن العديد من المعادن الثنائية التكافؤ يمكن ان يحل بعضها محل البعض في البلور . وفي سنة 1817 نشر ملاحظاته حول الكلسيت والأراغونيت (وهما شكلان من اشكالCO_3Ca) وعرف التشابه الوثيق بين كربونات المعادن الثنائية التكافؤ مثل : (Pb ,Ba , Sn) مع الأراغونيت ، وتشابه $NO_3 Na$ مع الكالسيت. وفي الماضي اكتشف كلابروث Klaproth (1788)، ثم فوركروا Fourcroyوفوكيلين Vauquelin(1804) تماهي التركيب الكيميائي في الأراغونيت وفي الكالسيت .

في سنة 1818 لاحظ ف. س .بودان F .S. Beudant ان بعض أزواج المركبات مثل سلفات الحديد والزنك يمكنها ان تولد بلورات متجانسة (« بلورات مختلطة ») ذات تركيب وسطي ، إلا انها تأخذ مرة شكل أحد الأملاح وتارة شكل الآخر .

ولكن الفضل الأساسي في اكتشاف التشاكلية وعكسها أو تعدد الأشكال يعود الى « الهارد ميتشرليك» (Eilhard Mitscherlich) (1794 - 1863). الذي طور بحوث بودان ، بين 1818 و1819 فدرس مع روز ، بواسطة المنقل أو مقياس الزوايا الذي وضعه ولامتون ، اشكال مختلف البلورات الاصطناعية . ولكن برزيليوس طلب إليه المجيء الى ستوكهولم للعمل حيث نشر في سنة 1821 كتابه الأول الكبير حول التشاكلية وعدم التشاكل (راجع ايضاً في هذا الموضوع دراسة ج . جاك J . Jac- ques القسم 3 الفصل 7) .

وسنداً للتعريف الذي قدمه ميشرليك ، بالاستناد إلى نتائج بحوثه حول البلورة المتزامنة في الارسينيات (الزرنيخات)، وفوسفات البوتاسيوم والأمونيوم، يكون مركبان محددان متشاكلين إذا كان لهما نفس النموذج ونفس صيغة التركيب الذري ،وفضلاً عن ذلك ، أشكال بلورية متساوية تماماً ، بحيث انها يتبلران ضمن نفس النظام ، وباشكال ذات زوايا قليلة الاختلاف تماماً . وبحسب لغة العصر تتألف المركبات المتشاكلة ذات النمط الواحد من التركيب ، ولهذا بالذات ،من جزيئات فيزيائية ذات شكل متشابه يمكنها ان تحل محل بعضها البعض وأن تختلط مع كل الأشكال متبلورة معاً (1820) .

واتخذت غالبية الكيميائيين والمعدنين هذا المبدأ كدليل مرشد في النقاش وفي حساب تحليلات أشباه المعادن المعقدة . ووسع اوغوست لوران (1845) هذا المبدأ بالذات ، مفترضاً ان التشاكلية يمكن ان تتجاوز حدود الأنظمة البلورية . فضلا عن ذلك ارتأى امكانية التبادل بين مختلف الاوكسيدات المعدنية في أشباه المعادن التي تحتويها . ونالت وجهة النظر هذه فيها نالت موافقة راملسبرغ Rammels- berg .

ولكن عمل ميتشرليك أثار انتقاداً حاداً لانه بدلاً من ان يعتبر التشاكلية كتعبير عن قرابة ملحة فيزيائية كيميائية ، جعل منها ، هكذا ، قانوناً بموجبه يقوم جسمان يتوفر فيهما أحد الشروط المعلنة ، بشكل اجباري بتوفير الشرطين الآخرين . وجرت وجهة النظر هذه العديد من المصاعب والمناقشات .

الا ان مفهوم التشاكلية أتاح تأويلاً أفضل للتركيب الكيميائي المعقد لعدد وافر من أشباه المعادن

كما أتاح اعطاء هذه الأخيرة صيغة بسيطة عن طريق تجميع بعض العناصر المركبة لها وفقاً لفكرة الاستبدالات التشاكلية بين العناصر الكيميائية ثم تشكيلها وفقاً لسلاسل تشاكلية من أشباه المعادن .

من ذلك مثلاً أن هسل J . F.C . Hessel (1826) ثم تشرماك G .Tschermak (1865) بيّنا انه بالامكان اعتبار سلسلة الفلدسبات البلاجيو كلازية كسلسلة متتالية من البلورات المختلطة العائدة إلى اختلاط الحدين الاقصيين (ألبيت وآنوريتت) التشاكليين . وبدا هذا المفهوم مفيداً لدراسة الصخور البلورية ، لأن أشباه المعادن في هذه السلسلة تشكل 40% من القشرة الأرضية .

وعلى نفس الخط قامت دراسات متتالية تتناول تغير الخصائص الفيزيائية ، وبشكل خاص الوزنية او الثقل النوعي ، والخصائص الابصارية ، تبعاً للتركيب الكيميائي للبلورات المختلطة (ماكس شوستر Schuster، 1881؛ أ . ميشال ـ ليفي ، 1877 و 1894؛ فوكيه Fouqué ، 1894) .

التشاكلية الثنائية والتشاكلية المتعدّدة : ـ عرف ميتشرليك Mitsherlich إن بعض المركبات الكيميائية لها خاصية التبلر تحت شكلين مختلفين ، وضمن شروط متنوعة ، بحيث انه في كل حالة من حالات التشاكلية الثنائية ، يكون لدينا جسمان من نفس التركيب الكيميائي ويتمايزان بنظامها البلوري . وقد لاحظ علماء التعدين انه في بعض حالات التشاكل الثنائي ، يشكل أحد الشكلين البلوريين الملحوظين حداً مجاوراً للشكل الآخر ، ومتطابقاً ، مع تغيرات خفيفة في قيمة العناصر التي تكوّن هذا الشكل الآخر . وقرر باستور Pasteur عمومية هذا الحدث (1848) واكتشف العديد من الأمثلة حول التشاكلية الثنائية في المواد الناشطة الاصطناعية .

ومنذ الزمن الذي بيّن فيه كلابروث Klaproth ان كربونات الكالسيوم تبلور بشكلين : الكالسيت الروسبودريك والأراغونيت اورتورومبيك L'aragonitéorthorhombique اكتشفت حالات عدة من التشاكلية الثنائية والتشاكلية المتعدّدة . وبيّن م . ل رانكنهيم M . L . Frankenheim انه تحت تأثير بعض العوامل مثل الحرارة قد تتغير البنية البلورية .

وهكذا توسع حقل التجارب ، وقامت اكتشافات عديدة في هذا السبيل على يد لهمان ومالار وويرو بوف وجرنز الخ . . . , Lehman , Mallard , Wyrouboff , Gernez .

التجانسية التماثلية Homoéomorphisme : ـ عدا عن حالات التشاكل بالذات قد يَظهر بين شبه معدنين تماثلٌ في الشكل وفي كل نقطة ، تماثل يشبه تماثل المواد المتشاكلة حقاً ، دون أن يكون لها نفس التركيب الذري المشابه ، وقد لفتت هذه الواقعة انتباه علماء التعدين المشهورين امثال دانا Dana وبروك Brooke وميللر Miller ونومان Naumann ودبلافوس Delafosse الخ .

وأطلق في القرن التاسع عشر اسم التجانسية التماثلية والتعددية التماثلية على هذا النوع من التشاكل الهندسي الخالص ، ثم فيما بعد اقترح ف . رين F . Rinne اسم ISOTYPIE أو التجانس النمطي لهذا التشاكل .

كانت مسألة العلاقات بين تركيب البلورات المختلطة من جسمين أو اكثر متشاكلين ، ومسألة

الوسط (ذوبان أو magma المغما الذائبة) موضوع بحوث دقيقة جداً قام بها ـ روزبوم -B . Rooze boom (1891) وموتمان Muthmann وكونتز Kuntze(1894)) وفوك Fock (1897) وفانت هوف Van't Hoff (1897 إلى 1906)، بحوث كانت لها تطبيقات عملية مهمة في حقل الصناعات الكيميائية وفي التعدين .

التحليل الكيميائي لأشباه المعادن : ـ ان التعريف للأصناف شبه المعدنية يرتكز على الخاصتين الاساسيتين : التركيب الكيميائي والشكل البلوري . وعندما طرح هاوي مفهوم الجزيء الدامج في اساس تعريف الأنواع ، ركز بذات الوقت على ضرورة وجود تحليلات كيميائية كمية صحيحة وكاملة ما امكن .

وإكمالاً لعمل م . هـ . كلابروث M .H . Klaproth (1743 - 1817) الذي يعتبر كمؤسس للتحليل شبه المعدني الكمي ، جمعت معطيات كثيرة من هذا النوع من قبل كيميائيين وعلماء معادن امثال : فوركروا وفوكيلين ، وبرتوليت ، وبرزيليوس ، ورراملسبرغ ، ودامور ، ورروز ودِليس وهـ ش . سانت ـ كلير دوفيل ، وبيزاني .

وهكذا تم اكتشاف أشباه معادن جديدة ، ليس هذا فقط بل عناصر كيميائية جديدة مثل النيوبيوم من قبل هاتشت Hatchett (1801)، والتانتال من قبل اكبرغ Ekeberg (1802) والبالاديوم والروديوم من قبل ولاستون Wollaston (1803) والاسوميوم والايريديوم من قبل سميثون تينانت Smithson Tennant(1804)، واليود في رماد النباتات البحرية من قبل ب . كورتوا (1811) ، والليتيوم (في البتاليت ، التريفان وبعض التورمالين) من قبل ارفيدسون Arfvedson (1817)، والكادميوم في اوكسيد الزنك والزنك من قبل ستروميرStromeyer(1818) والتوريوم في الثوريت من قبل برزيليوس (1825) واللانثان وسلسلة التربة النادرة في اشباه المعادن الشمعية في النروج من قبل موسندر Mosander (1838) الخ .

وتطورت الدراسات الاولى حول توزيع مختلف العناصر الكيميائية في أشباه المعادن بذات الوقت . وهكذا وضعت قواعد الكيمياء الأرضية للجيوكيميا التي ابتكر اسمها من قبل شونبين -Shön bein سنة 1838 ولكنه لم يُستعمل إلا في بداية القرن العشرين عندما أخذ هذا العلم يزدهر بحق .

وهكذا في أثناء القرن التاسع عشر تطورت الطرق والوسائل التحليلية النوعية السريعة الملائمة لحاجات علماء التعدين وعالم الاستكشاف الأرضي :

1 - المحاولات عن طريق النافخة (او المحاولات السبرية الحرارية) التي تستعمل فوارق سلوك المواد شبه المعدنية تحت تأثير الحرارة (برزيليوس 1821 ؛ بلاتنر، لوباليف ، تورنر ، ريختر ، ترايل الخ) . .

2 - المحاولات الميكروكيميائية المرتكزة على أشكال ذاتية خاصة في البلورات المحصول عليها بواسطة كاشفات خاصة كيميائية ، وعن طريق ترسيب المحلولات الملحية الناتجة عن مهاجمة أشباه المعادن بمختلف الأسيدات : (برنز 1881 ؛ بورجوا 1893 ؛ بوربكي 1877 ؛ كلامان وورنار 1886 ؛ سترينغ 1885) .

IV - المستعمرات شبه المعدنية في الطبيعة : ولادتها وتحولاتها

ان تعريف علم المناجم الموضوع سنة (1807) من قبل الكسندر برونيارت Brongniart يشير الى بعض المبادىء الأساسية في البحث تبقى دائماً صالحة . .

كتب يقول : « ان التاريخ الطبيعي لاشباه المعادن لا يتألف فقط من تاريخ خصائصها أو سماتها المميزة . فمناجمها العامة أي كيفية وجودها في الطبيعة وموقعها النسبي في باطن الأرض ، وتشكلها أو تفككها ، وتأثيرها على الأجسام الأخرى ، وطبقاتها المنجمية الخاصة الأكثر بروزاً ، ثم استعمالاتها الرئيسية في الفنون ، كلها تشكل القسم الأكثر أهمية في درس هذه الأجسام. وهذه المعارف هي بالنسبة إلى تاريخ أشباه المعادن كاللوحة من العادات ومن الوظائف العضوية بالنسبة إلى التاريخ الطبيعي للحيوانات ».

التصنيفات المنجمية فيما يتعلق بأشباه المعادن ثم مفهوم النوع شبه المعدني : ان التصنيف الجيد لا يقتضي ان يكون جدولاً بسيطاً بالوقائع أو الأحداث ؛انه أداة بحث . وهو، أي التصنيف كقاعدة أساسية لكل عمل نظري تتيح الارتفاع من المفرد الى الخاص ومن الخاص الى العام ، انه يربط بين هذه الاحايين المتنوعة في معرفة الأشياء المرتكزة على مفهوم النوع . وقيمة التصنيف تتعلق بهذا المفهوم المتسع باستمرار والشامل لكل مرحلة من مراحل المعرفة السائرة في طريق النمو. وهذه التأولات العامة تبدو حساسة بشكل خاص بالنسبة إلى عالم المعادن . هذا العالم يتوجب عليه النظر في مختلف مستويات الملاحظة ، ولذا يتوجب عليه ان يقوم بعمل تصنيفي ليربط بين الأشياء والأحداث . في أواخر القرن السابع عشر وفي مطلع القرن الثامن عشر اهتم علماء الطبيعة اهتماماً متزايداً بأشباه المعادن لتحديدها وتصنيفها . ولكن غالبيتهم لم تفهم جدوى الطريقة الدقيقة التي اتبعها ستينون Sté-non في دراسة الأشكال البلورية وفي عملية تطور البلور . ومن جهة أخرى كانت الكيمياء يومئذ في طفولتها ، وفي أواخر القرن الثامن عشر إذا كان بعض علماء التعدين أمثال برغمان Bergman (1792) وكرونستد Cronstedt (1753)، وفون بورن Von Born (1790) قد تبنوا الصفات الكيميائية كمبادىء في طرقهم ، فان هذه المبادىء كانت معروفة بشكل غير كاف ولم تكن تؤدي إلا الى تعريفات نوعية غامضة وفي أغلب الأحيان غير صحيحة .

ولهذا تركز الانتباه كله على الصفات الخارجية . وبالارتكاز على هذه الصفات حاول فاليريوس Wallerius (1747) ، وبعده ورنر Werner (1773) تجميع الاصناف ، ثم اعطاء قواعد من أجل تشخيصها . وفي سنة(1735) ركز ليني Linné على أهمية الشكل البلوري .

ان ملاحظات لومونوسوف Lomonossov (1745)، واكتشاف قانون ثبات الزوايا في متعدد الأوجه من البلورات ، على يد رومي دي ليسل(1783) قد ركزت بشكل أكثر وضوحاً على السمات البلوغرافية . ولكن الى هاوي يعود الفضل في أنه ميّز في هذه السمات بين ما هو أساسي من أجل تعريف الأنواع الشبه معدنية . ورغم أنه في بداية دراسته قد فضل التركيب الكيميائي ، الا انه لاحظ فيما بعد ان هذا التعريف كان ناقصاً . وكان موجهاً بالرغبة في بلوغ عملية تشكل البلور من أجل تعريف السمات الأساسية في النوع . فنظر إلى البنية على أنها السمة المميزة لاشباه المعادن (1800)

واستنتج أن سمةالنوعُ تكمن في جزيئه الدامج باعتباره النقطة الثابتة التي تنطلق منها الطبيعة في تشكيل أشباه المعادن». وحللَ هذا المفهوم، وبيَّن (هاوي) كيف أن الجزيء الدامج يحمل طابع ما سماه «وظائف الجزيئات الأولية» واستنتج من ذلك بأن مساهمة البلوغرافيا والكيمياء ضرورية للحصول على مفهوم صحيح وكامل للنوع . وعلى كل حال بسبب عدم دقة التحليلات ، التي تُعزى الى عدم نقاوة أشباه المعادن ، فضل هاوي Häuy اللجوء الى الجزيء الدامج كعامل تمييز . ولكن نظرية هاوي واجهت مصاعب عندما أريد تطبيقها على حالات التشاكل المتعدد وعلى التشاكلية بوجه عام . وكان لهاوي حول هذا الموضوع جدال مع برتوليت (1811)، ورفض بدون تحفظ فكرة التشاكلية التي ادخلها ميتشرليك Mitscherlich سنة 1818 .

ونظرية هاوي اذا فُهمت تماماً تتطلب ، عند اقرار احد الأنواع ، الفهم المتساوي للسمات البلوغرافية والكيميائية بآنٍ واحد . الاّ أن هاوي Haüy ، في التطبيق ، مال الى تغيير طبيعة طريقته لكي يجعل منها نظاماً بلوغرافياً شبه خالص . ومن جهة أخرى تقبل بتحفظ التمييز الذي قال به برزيليوس (1815) بين المعادن ذات الكهربائية الايجابية والمعادن ذات الكهربائية السلبية ، رغم انه في تصنيفه اعتبر الركائز (Bases) أي العناصر ذات الكهرباء الايجابية كروابط بين الأجناس .

ان تصنيف هاوي قد ساد في فرنسا حتى جاء بودان Beudant سنة 1830 فعمل ضد هذه السمة التي تغلب فيها البلوغرافية بشكل حصري واقترح منهجاً آخر كان له وقع كبير .

ولاحظ بودان ان الخصائص الفيزيائية ليست كافية لتميز الأنواع ، وان تجميعها في أصناف يقتضي اللجوء إلى المشابهات الكيميائية . ولكنه وقد ابتعد عن وجهة نظر برزيليوس ظن ، وهو يستند إلى مفهوم التشاكلية ان المبدأ الكهربائي السلبي يجب ان يخدم هذا التصنيف . وانضم برزيليوس فيما بعد إلى هذا المفهوم . وقدم الكسندر برونيارت Brongniart ، في جدوله حول توزيع الأنواع شبه المعدنية (1833) سمة مختلطة من الناحية الكيميائية . ورسم آ . دوفرنوا A Dufrénoy (1845) عودة اكثر كمالاً إلى طريقة هاوي القديمة . ولكنه أدخل تغيرات تحطم كل الأسر الطبيعية للأنواع والتي ساعد أكتشاف التشاكلية على تكوّنها .

ان الجدل حول الأفضلية التي يجب اعطاؤها إلى احدى هاتين المجموعتين من السمات : البلوغرافية أو الكيميائية ، فقد مبرره بمقدار ما تطورت المفاهيم حول البنية الشبكية للبلور ، وخاصة عندما أتاحت أشعة X في القرن العشرين تحديد ترتيب الذرات ضمن الشبكة .

التحولات الكاذبة : ـ بخلال الحقب الطويلة من تاريخ الأرض تعرضت اشباه المعادن لتغيرات جرى تعميق صفتها الدورية ، المكتشفة منذ أواخر القرن الثامن عشر من قبل جايمس هوتن James Hutton ، على يد علماء الجيولوجيا في القرن التاسع عشر . وما إن تشكلت ، المجموعات العابرة من الذرات التي هي البلورات ، وتجمعات البلور التي هي الصخور ، حتى دمرت أو تغيرت بفعل الحت والترسب والتغير ، وبفعل الماء والضغط والحرارة الداخلية في الأرض . وأعيدت هذه التجمعات إلى توازن بلوري ذي بنية منتظمة نوعاً ما مع تحقيق مستوى الطاقة الأكثر استقراراً ضمن ظروف بيئية محددة .

وحلت البلورات في أغلب الأحيان آثار هذه التغيرات وأبرز هذه السمات أو الآثار هو ما يسمى بالتحول الكاذب الذي سببه حلول جسم شبه معدني حديث محل جسم قديم ، وظل الشكل البلوري لشبه المعدن القديم قائماً ومحفوظاً . وقدم هاوي ، أولاً ، في بداية القرن التاسع عشر ، تعريفاً دقيقاً للتحولات الكاذبة ، ثم جاء كل من بريتهوت Breithaupt (1820) ثم لاندغريب Landgrebe (1841)، و . ر . بلوم R . Blum (1843) وديليس Delesse، يصفون العديد من النماذج ؛ ثم طبق ف . ي . جينيتز F . E . Geinitz (1876) الطرق الميكروسكوبية . وكان الأول في ذلك .

علم وصف الصخور : ـ لكي نفهم جيداً تطور علم وصف الصخور في القرن التاسع عشر ، تجب العودة عن مفاهيم مدرستين من كبار المدارس الجيولوجية ، التي كانت تتصارع في أواخر القرن الثامن عشر : مدرسة ورنر Werner ومدرسة هوتن Hutton (راجع المجلد الثاني) .

يرى ورنر ان الغرانيت كان صخرة ذات منشأ طري رطب ترسب كرسوب من محيط كوني مفترض . وهي فكرة آمن بها أيضاً دوبانتون Daubenton . أما هوتن فقد رأى أن الغرانيت قد ذُوِّبَ وأدخل في الصخور التي يوجد فيها

وقام تلميذان لورنر هما فون همبولت A.Von Humboldt ،وليوبولد فون بوش Leopold Von Buch فحسنا عمله . وبالفعل ، في حين اقتصر ورنر على منطقة الساكس ،درس تلميذاه البراكين الحية وقارنا بين العديد من المناطق ذات المعادن . وهكذا توصلا الى التخلي عن الأفكار المبسطة جداً لمعلمهما ، حول تشكل الطبقات أو الصخور البركانية المترسبة .

وقدم هامبولت الملاحظات الاولى حول العلاقة القائمة بين الطبقات شبه المعدنية والصخور البركانية معلنا بالتالي أعمال ايلي دي بومونتElie de Beaumont حول المقذوفات البركانية والمعدنية ؛ وكان هذا نقطة انطلاق لبحوث لاحقة قام بها برتيه Berthier وابلمان Ebelmen ، ودوروشه Durocher ، وسينارمونت Sénarmont، ودوبري Daubrée، وميشال ليفي A . Michel - Lévy، ولوني L . de Launay .

وأوضح ليوبولد فون بوش من جهته اصطفاف البراكين فوق شقوق كامنة في القشرة الأرضية وقدم الملاحظات الاولى حول تطورية الصخور .

مع التصنيفات التي طاولت الصخور والتي نشأت في القرن التاسع عشر انطلق المجهود الرامي الى التنسيق والتفسير من مستوى الملاحظة المتوافق مع تجمعات البلور (الصخور) المعتبرة لا لذاتها فقط بل تبعاً لنشأتها أي من الناحية الجيولوجية .

استعمل ورنر بآن واحد هذين النوعين من الاعتبارات المنجمية والجيولوجية ، مع اعطائه للاعتبار الثاني أهمية اكبر : فبالنسبة إليه تعتبر الصخور « انواعاً من الجبال » (Gebirgsart) .

وبالمقابل اعتمد هاوي وبرونيارت كأساس لتصنيفهما للصخور، السمات المنجمية فقط . وفي سنة 1822 وصف هاوي الصخور لذاتها « بالاستقلال عن مواقعها النسبية في الطبيعة ، وسنداً لسماتها الخاصة والتي تلحق بها اينما كان » .

أما بـرونيـارت (1827) فقد حددها سنداً لتركيبهـا شبه المعـدني وأدخل بشكـل منهجي مفاهيم البنية والنسيج . ولكن وبعد ان بيّن مـساوىء التصـنيف الجيولوجي الخالص قال :

« كل هذه المساوىء تزول إن نحن ، بعد تحديد الصخور بشكل شبه معدني وبالاستقلال عن مواقعها النسبية ، عرضنا بالتالي ، وعلى حدة ، وبكل التفصيلات اللازمة ، تاريخ موقعها وعلاقـاتها التكوينية » .

ان تقدم الأرصاد الجيولوجية أدى بصورة تدريجية الى تمييز ثلاثة أنماط من الصخور : البركانية ، التحولية، والترسبية. ولكن علم وصف الصخور، طالما اقتصر على الفحص العام الشامل للسمات الخارجية في الصخور ، فإنّه لم يستطع حقاً ان يتطوّر ، رغم الجهود الممدوحة التي بذلها كوردر Corder (1816) وديليس Delesse (1848) لتحديد المقـادير النسبية لأشباه المعادن المكـوّنة ، عن طـريق الفصل الميكانيكي ، أو عن طريق تقدير المساحات التي تحتلها هذه الأشباه ، داخل صفائح مصقولة مأخوذة من الصخرة المدروسة .

ان المؤسس الحقيقي لعلم وصف الصخور الحديث هو الانكليزي سوربيSorbyالذي طبق الميكروسكوب الاستقطابي على الشرائح الرقيقة التي عمل نيكول Nicolمنذ(1827) على تفصيلها وقطعها من أشباه المعادن ومن الصخور. لا شك أن العديد من علماء الطبيعة كانوا في تلك الحقبة يطبقون تقنية، نيكول أمثال ويتام Witham (1831) وبرونيارت (1840) لدراسة الخشب المتحجر. وأخذ العديد من علماء الابصار ينشرون جداول غنية بالأشياء الأكثر تنوعاً بعد قطعها الى شفـرات رقيقة مثـل : العظام ، الاسنـان والعقيق والخشب المتصـوَّن الـخ ؟ ! . ولكن الإنتبـاه لم ينصب نهائيـاً عـلى الخِصْب الموجود في هذه الطريقة من الفحص الاّ بفضل الجهود التي كرسهـا سوربي لبنية الرخام والباريتين (1856) والغرانيت ومضموناته (1858). وبعد هذا التاريخ تتالت الملاحظات التفصيلية بسـرعة نذكر منها أعمال فون رات Von Rath (1860) ، واعمال جرهارد Gerhard(1861) وروش Reusch ، فوجلسانغ Vogelsang ، وزيـركل Zirkel (1870) وتشرماك Tschermak، ودي كلوازو Cloiseaux، ومالار Mallard ، وفوكي Fouqué وميشال ليفي Michel - Lévy وآ . لاكروا . A . Lacroixو .

إن هذه الأعمال قد أدت بعد سنة 1870 الى تشكل مدرستين لوصف الصخور كانتا تتمثلان بصورة رئيسية ، بزيركل Zirket وروزنبوش Rosenbusche ، وفون لاسو Von Lasaulx ، ولوصن Lossen وبوريكي Boricky ، الخ . من جهة في ألمانيا ، ومن جهة أخرى من قبل ف. فوكيه F.Fouqué واوغسـت ميشال ليفي ثم آ. لاكروا في فرنسـا .

وبذات الوقت أدى تطور طرق البحث بعلماء وصف الصخور الى الاستعمال المنهجي للتحليل الكيميائي الكمي ، ممزوجاً بالفحص الميكروسكوبي ، من أجل تحديد طبيعة أشباه المعادن المكـوّنة ، وبنية تجمعاتهـا وكذلـك نسبها المختلفة . وفي أواخر القـرن التاسـع عشر تمت العودة الى الـدراسة الميكروسكوبية للصخور الرسوبية بنجاح بعد سوربي Sorby مع موراي Murray وريـنـارRenard ومـع لـوسيـان كـايـو Lucien Cayeux .

وعندما نقيس اليوم التقدم المحقق في مجال وصف الصخور بفضل استعمال الميكروسكوب الاستقطابي ، نعجز عن تخيل كيف انه في بداياته قد أثار اعتراضات قاسية من قبل علماء جيولوجيا عظام . هل يتوجب ان نرى في هذا الموقف تأثير أفكار أوغست كونتAuguste Comte الذي صنف ـ في لائحته التي تضمنت « المشاكل الخطرة » التي يتوجب على العلماء الابتعاد عنها لانها بحسب رأيه ، خارج نطاق قدرة العقل البشري ـ كل الأفكار التي تتعلق بالبحوث الميكروسكوبية ؟ ومهما يكن من أمر ان الملاحظات الدقيقة الميكروسكوبية ، المجمّعة بخلال القرن التاسع عشر هي التي أتاحت تركيز تصنيف الصخور البركانية على قواعد تتزايد دقتها .

واتخذ روزنبوش Rosenbusch (1887) كنقطة انطلاق حصرية لتصنيفه اسلوب الترقب الأولي للصخور. وميَّز الكتل العميقة عن الصخور البركانية الممتدة بشكل عروق، وعن صخور التهاوي épanchement . ولكنه أدخل أيضاً اعتبارات ذات طابع تعديني شبه معدني ، كما أدخل تعميمات حول شروط الموقع ، وهي اعتبارات تعرضت للنقاش الشديد خاصة من قبل آ . ميشال ليفي (1889) . وقد ابرز هذا الأخير « الخطأ القائم على الرغبة في الحصول من تصنيف صخري ، على صف الصخور بشكل مجموعات جيولوجية »، ثم أقام مع ف . فوكيه F . Fouqué تصنيفاً مرتكزاً على التركيب شبه المعدني وعلى البنية ، وكذلك على المعطيات الكيميائية التي هي نقطة انطلاق التصنيفات الحديثة .

ان الصفة الفطرية لتصنيف ميشال ليفي تنبع من أن هذا التصنيف يعتمد شروط تبلر الصخور البركانية انطلاقاً من المغما الاصلية ، وأن هذا التصنيف يعترف ليس فقط بدور درجة الحرارة والضغط ، كما يفعل روزنبوش بشكل حصري ، بل أيضاً يعتمد دور العوامل التي ساعدت على تكوّن أشباه المعادن ، وهودور قد حدده بصورة جيدة دوبري Daubrée وايلي دي بومونت Elie de Beaumontوهنري سانت كلير دوفيل Henri Sainte - ClaireDeville .

تحولية الصخور : ـ لقد ذكرنا كيف أن القشرة الأرضية تتعرض لتحولات دائمة ذات طابع دوري ، بتأثير من الماء والحرارة الداخلية للكرة الأرضية ثم الضغط . ومن بين أهم المشاكل التي يتوجب على الجيولوجيا و « المينيرالوجيا » أو علم أشباه المعادن حلها ، لفهم هذا التطور ، كانت مشكلة التعرف على المقادير النسبية التي يتوجب اعطاؤها لتأثير الماء ، وللتأثير الحراري الناري (ignée). والمسألة قد بحثت منذ زمن بعيد ، ثم تعقدت بعد اكتشاف العديد من الصخور التي تحمل ظاهرياً وسمة المنشأ المزدوج .

واعتبرت هذه الصخور من قبل ورنر وكأنها تنتمي الى تربة انتقالية أو الى تربات وسيطة ثم اعتبرت من قبل هوتون Hutton وكأنها نتيجة تحول الصخور تحت تأثير الحرارة . وفيما بعد أكد ليوبولد فون بوش على أن المبثوثات الكيميائية ، زيادة على الحرارة ، تستطيع أيضاً تحويل هذه الصخور .

ان فكرة « التحولية » اي التحول اللاحق للصخور الرسوبية أو البركانية قد وضحه فيما بعد ليل Lyell . وفي فرنسا اكدت الملاحظات التي قام بها بروشانت دي فيليه Brochant de Villiers وايلي دي بومونت ثم دوفرنوا Dufrénoy في جبال الألب وفي جبال البيرينيه ، هذه الأفكار حول التحولية

مع تقبل فعل الماء في هذه الظاهرة . وبذات الوقت ، عُرف ان الغرانيت الذي كان يعزى إليه المفعول الأقوى على الصخور المحيطة به ، هذا الغـرانيت ، ربما انـه لم يحصـل أو يتكـوّن عن طريق الـذوبان الباطني الخالص، ولكنـه ربما تشكـل ضمن ظروف وسط بـين الظروف التي سـادت تشكل سـلاسل العروق (Filons) العادية ، والظروف التي سـادت تكوّن الصخـور البركـانية ، علماً بـأن تبلر هذه الصخـرة أي الغرانيت لم يكن بالضرورة يُعزى إلى تجمدها في أعماق عميقة جداً وقد أكدت ارصـاد سوربي حول السوائل المحبوسة في الجيوب الميكروسكوبية في قلب الصخور وجود مفعول لها وللحرارة في تشكل الغرانيت .

وقد حملنا أيضاً على الظن بأن صخوراً أخرى بركانية ربما انها تكوّنت بواسطة الماء ، في درجة من الحرارة أقل بكثير عما كان يُظن .

في « دراساته حول جبال الألب » (1845 - 1849) قرر فورني Fournet التفريق بين التحـولية بفعـل من الخارج Exomorphe (مفعـول الصخر النـاري الجوفي عـلى المخـزن الـرسـوبي المحيط) والتحولية من الداخلEndomorphe(تأثير المخزن الرسوبي على الصخر الناري الجوفي) وقـدم تحليلاً دقيقاً للظاهرات العامة بخلال هذه التحولات المتبادلة .

وبيّـن دوروشي Durocher بأن المبثوثات الصادرة عن الينابيع الحرارية يمكن أن ترتبط بظاهرات التماس ، حالها كحال مفاعيل التحولية وتشكل عدد كبير من المكامن ذات التربة المعدنية .

ولجأ ديليس الى الرصد المباشر ، وإلى التحليل الكيميائي للصخور ثم إلى الفحص شبه المعدني الذي يتناول الصخر البركاني والصخر المغلق أو المحيط فحصل (1846) على معطيات عديدة جـديدة حول التحولية « الخاصة » أو « التماسية » ودرس أيضاً التحولية العـامة التي تتنـاول مناطـق بـأكملها والتي لفت الانتباه إليها بشكل خاص إيلي دي بومونت .

واهتم علماء جيولوجيون آخرون بالتحوّلية ، مثل ألكس برونيارت ، دوماليوس D'omalius ، ش . دوفيل ، غيمار Gueymard ،لوري Lory ، في فرنسا ؛ هـ . آ . دولابيش de la Beche ، ر . مورتشيسون Murchison، غريناف Greenough ، ج . فيليبس ، بوليت سكروب Poulett Scrope في انكلترا ؛ أ . فون همبولت ، كردنر Credner ، فوش Fuchs ، في ألمانيا ؛ روجرز ، ويتني Whitney ، ستيري هانت Sterry Hunt ، في أمريكا .

V ـ النيازك

عدا عن الأهمية التي تمثلها النيازك بالنسبة الى علم الفلك ، فهي ذات أهمية ، من حيث طبيعتها الذاتية ، بالنسبة إلى علماء التعـدين وإلى علماء الجيولـوجيا ، فـالنيازك هي فعـلاً الرسـائل الملموسة الوحيدة التي نتلقاها من الفضـاء الكوني ؛ ومعرفة تركيبها توحي لنا بمعلومات سواء فيما يتعلق بطبيعة الأجرام المتناثرة في هذه الفضاءات الكونية كما حول تاريخ كوكبنا .

فمنذ أقدم العصور لفت سقوط النيازك انتباه الناس ، إن لمنظرها الخلاب كظاهرة أو كموضوع

فضول يفتح المجال أمام الأوصاف الاكثر غرابة . ولكن المعرفة العلمية الحقة بهذه الاشياء لم تكن قديمة جداً .

لقد ساد عدم التصديق منشأ هذه النيازك خارج نطاق الأرض الى ان جاءت أعمال الفيزيائي الألماني كلادني Chladni المثابرة في سنة (1794) فقدم براهين قوية لصالح هذه الأطروحة .

وجمع العديد من الملاحظات في تلك الحقبة من قبل علماء بلدان مختلفة منها فرنسا وانكلترا وألمانيا والنمسا والولايات المتحدة الخ . وفي حين انضمت غالبية علماء المعادن والفيزيائيين غير الألمان الى رأي كلادني ، ظل العلماء الفرنسيون في مجملهم معارضين لهذه الأطروحة . واعتقد لابلاس Laplace وبواسون Poisson بأن النيازك ليست الاّ مقذوفات من البراكين القمرية . ولم يخضع الفرنسيون إلاّ أمام استنتاجات بيوت Biot حول سقوط «النسر» Aigle (أورن، 26 آب، 1803).

وجرى العديد من التحليلات الكيميائية للنيازك خلال القرن التاسع عشر ، وكذلك دراسات حول تركيبها شبه المعدني . ونذكر منها أعمال هوارد Howard الذي بيّن أولاً ثبوتية النيكل ، ثم اعمال برزيليوس ، واعمال أوهلر Wöhler ، وتوماس غراهام Thomas Graham الذي اكتشف الهيدروجين الحر في حديدة نيزكية، وأعمال فوكيلين Vauquelin ولوجيه Laugier التي كشفت عن وجود شبه ثابت لمعدن الكروم ، وتحليلات دوفرنوا Dufrénoy وبيزاني Pisani ودامور Damour وبوسينغولت Boussingnault واقترح دوبري Daubrée تصنيفاً للنيازك استعمله من أجل عرض مجموعة متحف باريس . وكانت مبادئه مرتكزة على الأبعاد النسبية في الحديد النيكلي والسيليكات وظلت هذه المبادىء قائمة في خطوطها الكبرى ضمن التصنيفات اللاحقة .

وحقق دوبري فضلاً عن ذلك تجارب مهمة في مجال التركيب (1866) ، بهدف فهم بنية وأسلوب تشكل النيازك. وأشار إلى أهمية الصخور المنغنيزية سواءً في الكرة الأرضية أم في سائر كواكب المنظومة الشمسية . ولاحظ انعدام الصخور ذات الطبقات وعدم وجود الغرانيت في النيازك ، فعرض فكرة « الحثالة الكونية » المتمثلة بالمعادلة ($Si\ O_4\ Mg_2$) في الصخور الأرضية العميقة كما في النيازك وتصور أخيراً أن الأجسام النجومية التي عنها تنبثق النيازك لها بنية ذات طبقات كروية وحيدة المركز يتجه ثقلها متصاعداً من السطح نحو المركز حيث لا يوجد الا الحديد المعدني ، الممزوج بالنيكل .

وقدم الفرضية بان الأمر يكون كذلك بالنسبة الى الكرة الأرضية ، بصرف النظر عن القاعدة السطحية الغرانيتية ـ النايسية .

VI - الطرق التجريبية

في القرن التاسع عشر ظهرت أولى المحاولات من أجل انتاج أشباه المعادن والصخور في المختبر ، والعديد من المركبات التي أصبحت الآن جاهزة محققة ، بدأت أولاً في دراسات توبعت

بخلال تلك الحقبة . وقام بتصنيف الطرق المتنوعة المستعملة كل من ش . فوش C . Fuchs وفوكيه Fouqué ، وميشال ليفي Michel - Lévy ول . بورجوا L . Bourgeois ، على أساس شروط التبلر .

أ ـ الأسلوب الناشف .

1 - تبلر مع تذويب (تذويب بسيط بدون مذوب ، تذويب مع مذوب بدون تفاعل كيميائي ؛ تفاعل كيميائي بين المواد المذابة) .

2 - تبلر تحت تأثير مواد متطايرة (التصاعد البسيط ؛ تفاعل كيميائي بين مواد متطايرة ؛ تفاعل مادة متطايرة مع جسم غير متطاير) .

ب ـ الأسلوب الرطب .

بدرجة حرارة متدنية أو عالية ، تحت الضغط أو بدون ضغط (التبلر انطلاقاً من تذويب بدون تفاعل كيميائي ؛ تفاعل كيميائي بين سائلين ؛ تفاعل سائل مع جامد) .

نذكر من بين التركيبات الأكثر اثارة للاهتمام : صنع الرخام انطلاقاً من الكالكير [الطبشور أو الحجر الكلسي] (جامس هال James Hall 1801) ؛ صنع الكوارتز ، والكاربونات والسولفور ، والفليورين ، والفلدسبات اورتورز ، الخ ، بتأثير الماء النقي ، أو المثقل قليلاً بالكاربونات القلوية تحت ضغط عالٍ (سينارمونت ـ دوبري ، وفريدل Sénarmont , Daubrée et Friedel) ، وصنع الكاسيتريت والروتيل بفعل بخار الماء على الكلورور أو الفيلورور (دوبري Daubrée) ؛ وصنع السولفور المعدني بتأثير الهيدروجين الكبريتي (سولفورو) على الكلورور المحمَّر (دوروشي Durocher) ؛ وصنع الاورتوز ، والألبيت ، والكوارتز ، والزمرد Eméraude ، والزيركون ، بالفعل الكيميائي على الناشف مع وجود مكونات أشباه المعادن (هوتفوي Hautefeuille) ؛ وصنع الياقوت الأحمر (لعْل) Rubis (فرمي Frémy وفيل Feil وفرنوي Verneuil 1877 - 1891) .

ان الفكرة العامة التي يجب ان ترشد عالم التعدين بخلال عمليات استصناع أشباه المعادن هي تنظيم التجارب انطلاقاً من ملاحظات تجري على الأرض . وقد أوضح سينارمونت بجلاء هذا المبدأ منذ سنة 1851 ، مشيراً إلى « ان كل الظروف التي تركت فيها العملية الطبيعية آثاراً مميزة اكتشفها عالم الجيولوجيا ، يجب ان تتواجد في العملية الإصطناعية التي يقوم بها الكيميائي » .

وقد حسمت التجارب الجميلة حول تركيب الصخور النارية ignées التي قام بها فوكيه وميشال ليفي (من 1878 الى 1881) عدداً من المسائل ، مبينة بشكل خاص ، انه من المستحيل عن طريق التذويب الناري ignée الخالص ، اصطناع الصخور الكوارتزية مثل الغرانيت .

VII - المجموعات شبه المعدنية الكبرى

ان المجموعات الكبرى التي نمت في القرن التاسع عشر شكلت بالنسبة الى علماء أشباه المعادن أدوات مفيدة جداً في البحوث ؛ وبالنسبة الى المربين شكلت وسيلة لا مثيل لها من أجل استثارة فضول العبقريات الشابة .

في فرنسا خطر لبوفون Buffon سنة1745 ان يكوِّن مجموعة من أشباه المعادن « في صيدلية » بستان الملك . وفي سنة1767 كلف دوبنتون Daubenton بهذا المرفق وأعطي لقب حارس ودليل ، قبل ان يصبح استاذ علم أشباه المعادن عند انشاء هذا الكرسي سنة1793 . وفيما بعد وبتأثير من أساتذة متعاقبين هم (دولوميو Dolomieu، وهاوي Haüy وآ . برونيارت Al . Brongniart، ودوفرنوا Dufrénoy وديلافوس Delafosse، ودي كلوازو des Cloiseux وآ. لاكروا A. Lacroix)، أصاب هذه المجموعة تطوراً ملحوظاً بفضل التملك أو الهبات، إما لمجموعات خاصة أو لسلاسل من المجموعات جمعها السياح من علماء الطبيعة . وتطورت مجموعة مدرسة المناجم في باريس التي أسست سنة1783 ، بخلال القرن التاسع عشر وأصبحت تحت إدارة شارل فريدل Ch.Friedel ، احدى اكمل المجموعات وأهمها ، وفي بعض الأحيان شكلت المدن الجامعية مجموعات جيدة من أشباه المعادن مثل مجموعة ليون .

وفي انكلترا جمعت أشباه معادن، وصخور، ونضدت في «المتحف البريطاني» الذي أسس في القرن الثامن عشر (راجع المجلد الثاني) ، خاصة بعد سنة 1857، عندما عين ستوري ماسكيلين Story - Maskelyne « حافظاً لأشباه المعادن ». وصنفت المجموعة شبه المعدنية سريعاً بين أهم المجموعات في أوروبا. وعندما نقلت الى أبنية « متحف التاريخ الطبيعي Natural History Museum) التي بنيت بين 1873 و1880، لم تتوقف عن النمو بفضل ضم العديد من سلاسل النماذج الآتية من انكلترا ومن المستعمرات الانكليزية ، تحت ادارة ماسكيلين Maskelyne وفلتشر Fletcher ول. ج سبنسر L . J .Spencer الخ . واعطيت مكانةٌ مهمةٌ في هذا المتحف للنيازك . وشكلت المدن الانكليزية الأخرى الجامعية مثل كمبريدج واكسفورد ، وادنبره أيضاً وبصورة تدريجية مجموعاتها الغنية .

وفي ألمانيا وخاصة في الساكس ، وجدت عدة مجموعات خاصة ، عندما أسست سنة 1765 مدرسة المناجم في فريبرغ والتي زودت بمجموعة « Oryktognostique» . واكتسبت هذه المجموعة نمواً ضخماً تحت ادارة ورنر وخلفائه . وكان منشأ مجموعة متحف التاريخ الطبيعي في برلين ، (المؤسس سنة 1809) في الغرفة الملكية لاشباه المعادن والتي أسست سنة 1781. وخلال القرن التاسع عشر شكلت غالبية المؤسسات الجامعية الألمانية ، وكذلك مدرسة المناجم في برلين (وقبلها مدرسة كلوستال في مقاطعة هارتز) مجموعات مهمة من أشباه المعادن .

وفي بوهيميا حيث بدأ نشاط المؤسسة الزراعية (آغريكولا) ، ساد منذ تلك الحقبة ، بشكل لا مثيل له في مكان آخر اهتمام دائم بمجموعات أشباه المعادن . وتركزت هذه المجموعات بصورة تدريجية في المتاحف الاقليمية وفي جامعة براغ وفي مدرسة المناجم في بريبرام ، الخ .

وفي بودابست شكلت المجموعة المهمة جداً العائدة الى الأمير لوبكويتز Lobkowitz الاساس في مجموعة المتحف الوطني الهنغاري . وفي النمسا احتوت « الغرفة الامبراطورية للتاريخ الطبيعي » ، المؤسسة منذ منتصف القرن الثامن عشر سلاسل مهمة من أشباه المعادن التي سرعان ما نظمت على حدة تحت ادارة موهص Mohs ، ثم تحت ادارة بارتش Partsh وج . شرماك Tschermak خاصة ،

وذلك سنة 1851 . وشكلت الجامعات والمدارس التقنية مجموعات مهمة للدراسة .

وفي سويسرا تجدر الاشارة إلى المجموعة شبه المعدنية لمدرسة البوليتكنيك الفدرالية في زوريخ، التي اغنيت بأشباه معادن جبال الألب التي جمعت من قبل د. ف . ويسر D.F. Wisser وكذلك مجموعات متاحف برن وبال (1821) .

وفي ايطاليا اغتنت المجموعات المهمة والقديمة جداً بالعديد من المجلوبات بخلال القرن التاسع عشر ومنها : المعهد شبه المعدني ، ومتحف بارما ومتاحف بولونيا وتورينو (1713) ، وغرفة أشباه المعادن والجيولوجيا التطبيقية في روما (1817) .

وفي أسبانيا نذكر مجموعات متحف العلوم الطبيعية في برشلونة (1882) ومجموعات متحف مدريد (1770) .

وبين المجموعات الاسكندينافية نذكر المتحف شبه المعدني في كوبنهاغن الذي ضُم إليه سنة (1860) متحف الجامعة، ومجموعات غنية من متاحف كريستيانا (اوسلو) وستوكهولم ، المتكونة سنة(1811) و(1819) ، والتي نميت فيها بعد وبصورة رئيسية بتأثير من بروغجر W .C.Brögger .

ومن بين المجموعات المتوفرة في روسيا ، تُذكر مجموعات سانت بترسبرغ ، وهي تقريباً الوحيدة في القرن التاسع عشر ، وبصورة خاصة مجموعة معهد المناجم المؤسس في أواخر القرن الثامن عشر ، ومجموعة اكاديمية العلوم ثم المجموعة الشهيرة الخاصة العائدة الى نيكولا فون لوتنبرغ Nikolas Von Leuchtenberg .

وفي الولايات المتحدة سرعان ما تشكلت المجموعات شبه المعدنية بتأثير من علماء سميثونيان انستيتيوشن Smithonian Institution ثم المتحف الوطني في الولايات المتحدة في واشنطن سنة (1846) وهو مركز المسح الجيولوجي في الولايات المتحدة ، وذلك بفضل كل من : س . بنفيلد S . Penfield ، وف . و . كلارك F . W . Clarke، وو. تاسن W . Tassin، وج . ب . مريل G . P . Merril و أ . س . دانا E.S. Dana وج . د. دانا J . D. Dana. واغتنى متحف التاريخ الطبيعي في نيويورك المؤسس سنة(1869) بالمجموعة الغنية جداً الخاصة العائدة الى بيمنت Bement من فيلادلفيا . وفضلاً عن ذلك شكلت عدة جامعات في الولايات المتحدة أيضاً مجموعات مهمة .

وفي كندا ، كما في الولايات المتحدة نمت المجموعات شبه المعدنية بفضل نشاط المرافق الجيولوجية . ونظم المتحف الوطني في أوتاوا المؤسس سنة (1842) مجموعة ممتازة من أشباه المعادن في كندا ، وكذلك فعلت جامعة مونتريال.

وأخيراً في أميركا الجنوبية جمعت مجموعات مهمة تضم أشباه المعادن الأكثر بروزاً الملتقطة من العديد من المناجم المعدنية وشبه المعدنية في العالم الجديد ؛ أما من قبل شخصيات خاصة وأما من قبل أجهزة رسمية كالجامعات والمدارس التقنية خاصة في مكسيكو وفي البرازيل (المتحف الوطني في ريودي جنيرو ، 1818) وفي البيرو (مدرسة المناجم في ليما) .

الفصل الثاني

الجيولوجيا

ان القرن التاسع عشر هو الحقبة لتطور علوم الأرض بشكل قوي . فإلى جانب الجيولوجيا بالذات ، نشأ علم ما قبل التاريخ ، في حين تطورت بشكل ضخم علوم المينارلوجيا أي أشباه المعادن وعلوم وصف الصخور وعلم الإحاثة [هو علم يبحث في أشكال الحياة في العصور الجيولوجية كما تمثلها المتحجرات الحيوانية والنباتية][1] . بحيث أصبحت ميادين علمية مستقلة .

وعبر القرون السابقة كان لبعض الرجال تأثير ملحوظ بمقدار ما كانوا قليلي العدد . وابتداءً من القرن التاسع عشر تغير الوضع تماماً ، فنُظم التعليم العام وتكاثرت المعاهد ، وزاد عدد الباحثين بسرعة وانتظم العمل الجماعي . وأخذ كل مجال علمي يتشعب الى اختصاصات ، ولم يعد أي فرع من صنع رجل واحد . وعلى كلٍ ، ولما كان التخصص غير متقدم كثيراً ، بقي هناك أدمغة عظيمة تسيطر على المواضيع الكبرى ، وتؤسس المدارس وتكتب الموسعات الكبرى الأولى . وفي حين قدم بناء الاقنية الصالحة للملاحة ، والسكك الحديدية لعلماء الجيولوجيا ، مادة غنية جداً للدرس ، أخذ الاستكشاف العقلاني لثروات باطن الأرض يتطور وينمو . فضلاً عن ذلك سهل الابحار بواسطة البخار وبناء السكك الحديدية التنقلات وتبادل الأفكار . ان القرن التاسع عشر هو حقبة توسعت فيها البعثات العلمية الكبرى . ولم يقتصر علم الجيولوجيا على أوروبا . بل امتد الى أميركا الشمالية والى كل القارات . وهذا التوسع كان هو الاساس في خلق لغة دولية للتعبير عن الأفكار والاحداث ، ولتسمية المراحل المتتالية في التاريخ الشامل للكوكب الأرضي .

وسوف تتغير بشكل ضخم الشروط العامة للبحث في هذا المجال . فحتى ذلك الحين لم يكن

(١) ان تقدم علم اشباه المعادن وعلم الصخور قد دوُن في الفصل السابق على يد ج . اورسل . . J . Orcel وولادة علم ما قبل التاريخ البشري سوف يُدرس في فصل لاحق من قبل ر . فيرون . R . Furon(الفصل 7 ، الكتاب 2 ، القسم 5) اما تطورعلم الإحاثة المبني على طبقات القشرة الأرضية فقد اختصر فيما يلي ، وأما علم الاحاثة فيما يتعلق باللافقريات فسوف تدرسه الآنسة أ . تتري A . Tétry (الفصل 2 ، الكتاب 1 ، القسم5) . اما علم الاحاثة فيما خص الفقريات فسوف يُدرس في فصل خاص من قبل ج ـ بيفتو J . Pivetau (الفصل 2 ، الكتاب 2 ، القسم 5) .

هناك طريقة عقلانية : فقد كانت الأرصاد مشتتة ومفككة وكانت التأويلات عفوية كيفية . ان القرن التاسع عشر قد صاغ كل المسائل التي كان لها مفهوم أو فكرة . ونشأت طرق عمل أخذت تنمو . وظهرت نظريات متتالية ، نظريات غريبة أحياناً ، ولكنها تستطيع ان تشكل بصورة تدريجية هيكل عقيدة استطاعت ـ رغم ارتكازها بشكل خاص على ما لبعض الأشخاص من قيمة ـ ان تنوجد ، وبالتالي ان تتكون مما يمكن انتقاده وتحسينه بصورة تدريجية . فضلاً عن ذلك دخل ما كان يعتبر ـ في مجال النظريات والفرضيات ـ أرثوذوكسياً، وممنوعاً من الناحية العملية ، على النقاش ، انتقل بصورة تدريجية الى مجال التاريخ .

وفي مجال الأحداث ، كان التقدم بخلال القرن التاسع عشر ثابتاً إلى درجة أننا ما نزال الى اليوم نرجع ، وبكثير من الفائدة إلى الملاحظات الصبورة والمفصلة التي وضعها سابقونا .

I - تاريخ الأرض ووضع سلم طبقاتها

ان وضع سلم طبقي يعبر عن تتالي فصول تاريخ الأرض كان أول مسألة يجب على علماء الطبيعة، في القرن التاسع عشر ، حلها . ولكن حل هذه المسألة لم يكن ليتقدم الا بفضل نهضة علم الاحاثة . وقد أكد علماء الطبيعة في القرن الثامن عشر على الطبيعة العضوية للمتحجرات ، وتصوروا وجود انواع زائلة وأعدوا دراسات حول علم الاحاثة . وأخذت البحوث حول علم الاحاثة المنهجية تتقدم بسرعة يومئذٍ في مختلف البلدان .

نشأة التحولية والنجاح المؤقت لنظرية كوفيه Cuvier :ـ لقد لاحظ لامارك Lamarck ، صديق بوفون Buffon ومكمله ، استاذ علم الحيوانات في المتحف منذ 1793 ، التغيرات في الفروقات التي تفصل الأنواع فيما بينها ، واستنتج ان « النوع » أصعب من ان يعرف، كما يظن عموماً . ومن جهة أخرى قارن أشكالاً حية باشكال متحجرة ، ووضع النظرية التحولية وهو يحاول تفسير تغير الأشكال الحيوانية عبر الأزمنة الجيولوجية بفعل وراثة السمات المكتسبة بتأثير من المحيط ومن نظام واستعمال الأعضاء . وتضمن علم المائيات (هيدرولوجيا) الذي وضعه لامارك سنة 1808 ، الى جانب الآراء الكيفية ، افكاراً ممتازة حول حت المياه الجارية ومفعول الظاهرات القائمة . ويجب القول ان معاصري لامارك لم تعجبهم هذه الأفكار الجديدة التي لم يفهموها مفضلين عليها التتبع الأعمى لافكار كوفيه (راجع أيضاً بهذا الموضوع دراسة ج . بيفيتو Piveteau، القسم 5،الكتاب 2، الفصل 2).

كان كوفيه معارضاً باطلاق لفكرة التطور ، وكان مقتنعاً بأنه ـ بين الحدثين العظيمين : الخلق والطوفان ـ حدثت « ثورات في الكون » تدل على تغيرات النوع الحيواني . كان ثبوتياً من حيث المبدأ، ولانه لم يكن أيضاً يعرف « اشكالاً وسيطة » تدل على التطور بالانتقال من شكل إلى شكل ، لهذا لم يناقش كتابات لامارك واكتفى بتجاهلها .

كان اتيان جوفروا سانت هيلر Etienne Geoffroy Saint Hilaire (1772 - 1844) صديقاً وزميلاً للامارك ، وكان أيضاً من أنصار التحولية . لأن دراساته حول الزحافات المتحجرة في منطقة النورماندي الفرنسية قد جرته الى ان يكتب ان الحيوانات الحالية تنحدر « من حيوانات بادت في عالم ما

قبل الطوفان » . ولكنه فضل على التغيرات البطيئة التي قال بها لامارك ، التحولات المفاجئة السريعة وهذا ما سمي فيها بعد بالانتقالات .

وهاجم كوفيه بحدة جوفروا سانت هيلر في أكاديمية العلوم سنة1830 ونالت آراؤه قناعة الجميع . وهكذا تأخرت الفكرة التحولية في فرنسا . ولم تتم العودة إليها الا بعد موت كوفيه وبعد نشر كتاب « أصل الأنواع » لداروين سنة1859 .

وكردة فعل ضد البلوتونية التي قال بها هوتون Hutton باعتبارها تتلاءم مع نص « خلق العالم » ، عرفت النظرية الكارثية التي قال بها كوفيه نجاحاً واسعاً في بريطانيا ، خصوصاً عند بوكلاند Buchland وسدويك Sedgwick وكونيبير Conybeare ومورشيسون Murchison وجامسون Jam-eson . وظهر نشر كتاب « البقية الطوفانية » لندن (1823) على يد الأب و . بوكلاند استاذ الجيولوجيا في جامعة أوكسفورد، وكأنه محاولة يائسة من أجل التوفيق بآن واحد بين الاكتشافات الأخيرة الجيولوجية والاحاثية ، ونظريات ورنر وكوفيه ، وحرفية الكتابات المقدسة . ان هذا الارتداد ذا الاستيحاء الديني قد استمر يظهر طيلة قسم كبير من القرن ، معارضاً بشكل خاص وحدة التشكل التي قال بها ليبل Lyell وأيضاً نظريات داروين .

بدايات علم الاحاثة الطبقية الارضية : كان لتطور دراسات الاحاثة المنهجية نتائج مهمة في مجال علم طبقات الأرض . فحتى ذلك الحين كان هناك تقسيمان مقبولان : « الأراضي البدائية الأولى » المقومة وبدون متحجرات ، ثم الأراضي « الثانوية » الأفقية وذات المتحجرات .

وعرّف كوفيه وبرونيارت ـ في كتابها « محاولة حول الجغرافيا المنجمية لجوار باريس » (المنشور ، كمقالة سنة 1808 ثم بشكل مستقل وبشكل اكمل سنة 1811) ـ التشكلات لا من حيث سماتها التحجرية او الترسبية بل فيها خص مجمل حيواناتها . وبيّنا مثلاً ان حيوانات « الكلس الخشن » تختلف تماماً عن حيوانات الطَّبشور . فهذا الكلس الخشن مغطى بالرمال وبالصلصال (رمال بوشان المستقبلية)التي حملت جفصين مونت مارتر والموصوفة سابقاً من قبل ديماري Desmarest ولامانون Lamanon وكوبي Coupé، هذا الجفصين الذي يحتوي على عظام فقريات درسها كوفيه .

وفي سنة1821 نشر الكسندر برونيارت الذي ادخل التقسيمات الاضافية للأراضي الثالثة في كتابه « الموسع الأولي حول علم التعدين »(1807)، بحثاً مهماً « حول السمات الحيوانية في التشكيلات . . . » يثبت مكانته السامية بين المؤسسين لعلم الاحاثة الطبقية . وبين ان الكائنات المتحجرة تختلف تماماً عن الكائنات الحالية بمقدار ما هي أقدم . وأكد برونيارت وجهة نظر وليم سميث التي أصدرها منذ سنة1799 (راجع المجلد الثاني) والتي نشرها المساح البريطاني تحت عنوان (الطبقات القشرية التي حددت هويتها المتحجرات العضوية ، لندن 1816، النظام القشروي للمتحجرات العضوية، لندن 1817) ؛ وأوضح انه إذا أعطت قطعتان من الأرض متباعدتان جغرافياً ، نفس المتحجرات ، فبالامكان اعتبارهما من نفس العمر . وقد ركز المؤلف الشهير من خلال امثلة متنوعة على الحكم حول المتحجرات التميزية ، وهو مبدأ أساسي في علم المتحجرات القشرية .

وفي سنة1829 بيّن الجيولوجي الاميركي ، فانوكسم Vanuxem، بدوره ان العمر النسبي في

أرض ما ، يجب ان يتحدد سنداً لمتحجراتها ، لا سنداً لانحدار طبقاتها .

وفي نفس السنة طرح برونيارت في جدوله حول الأراضي التي تتكون منها القشرة الأرضية ، تقسيم تشكلات القشرة الأرضية إلى سبع سلاسل هي :

1 ـ الأراضي الأغاليزية agalysiens (وهذا يوافق الأراضي النايسية أي الصخرية الصوانية)،
2 ـ الأراضي الهميليسية Hemilysin (قسم من التكوين الأول) ،
3 ـ اليزيمية الابيسية Yzémiens Abyssiques ، (الصخور الفحمية العليا في عصر الترياس Trias)،
4 - اليزيمية البيلاجية Yzémiens Pélasgiques (المتوافقة مع العصرين الطباشيري والجوراسي)،
5 - اليزيمية التالاسية thalassique (العصر الحجري الثالث)،
6 - الصخور الكليمينية أو الطوفانية ،
7 - الليزية أو الغرينية .

أما الصخور البركانية فقد قسمت من جهتها الى فئتين : قديمة أو أراض تيفونية متولدة من أعاصير، وحديثة أو أراض بيروجينية احترارية .

في سنة 1830 قدم ج . ب . أوماليوس دالوا J - B.d'Omaliusd'Halloy مدرجاً آخر هو :

1 - الأراضي البيرودية Pyroides (الصخور البركانية) ؛
2 - الصخور الهميليسية (الصوانية حتى الفحمية) ؛
3 - الصخور الأمونية النشادرية (الأراضي الامونيدية ، من العصر الحجري الجيولوجي الأخير، من البرمي الى العصر الطباشيري) ؛
4 - الصخور الثالثية ؛
5 - الصخور الحديثة .

العصور والأنظمة: ـ بعد التقدم الذي احرزه علم المتحجرات القشرية ، امكن تجميع الطبقات الأرضية ضمن مذاهب أو أنظمة تتميز بمتحجراتها ، وتختلف فيما بينها بتنافرات قشروية .

وفي سلسلة العصر الأولي الذي رصد من قبل راصدين عظيمين هما الانكليزيان رودريك مورشيسون Roderick Murchison وآدم سدويك Adam Sedgwick اللذين عرفا وسميا ، بين 1835 وسنة 1841 القشرات : الكمبرية والسيلورية والديفونية والبرمية : Silurien Cam-brien و Devonien و Permien . وهذه القشرة الأخيرة جاءت بعد الطبقة الفحمية ، التي أوجدت منذ 1822 ، من قبل كونيبير Conybeare للدلالة على الأرض الفحمية في انكلترا .

أما العصر الحجري الثاني فقد قسم الى ثلاثة أنظمة : الترياس Trias المنسوب الى ف . فون البرتي F . Von Alberti (1834) ، الجوراسي [نسبة الى جبال الجورا في فرنسا] المنسوب الى الكسندر برونيارت (1829) ثم الطبشوري الذي عرفه أوماليوس دالوا منذ 1822 .

وقسم العصر الحجري الثالث سنة1830 من قبل ديزاي Deshayes الى ثلاثة أنظمة أعطاها ش. لييل Ch. Lyell بعد ذلك بقليل اسم ايوسين Eocéne وميوسين Miocéne وبليوسين Pliocéne . وأضيف العصر الرابع في سنة1829 من قبل دينوايي Desnoyers .

نهضة علم الاحاثة (باليانتولوجي) القشروي أو الطبقاتي أو التنضيدي ـ رأت الحقبة الواقعة بين1820 - 1860 في كل البلدان ازدهاراً في الأعمال المستوحاة من طرق جديدة في علم الاحاثة القشرية . وكانت الأراضي من العصر الأول موضوع بحوث فردية قام بها : دوموں Dumont في بلجيكا . وباراند Barrande في بوهيميا ثم انجيلين Angelin في السويد ثم بيريش Beyrich وجينيتز Geinitz ، وورمر Roemer ، والأخوين ساندبرجر Sandberger ، ول . كونك L . de Koninck في ألمانيا ؛ وفانوكسم Vanuxem وايمونس Emmons ، وجيمس هال James Hall في اميركا . أما الأراضي من العصر الثاني وحيواناتها فقد درست من قبل : الفيكونت دارشياك d'Archiac ، وماثيرون Matheron ، وألسيد دوربيني Alcide Dorbigniy ، وتيريا Thirria وثورمان Thurmann في فرنسا ، وبوكلاند Buckland ، وفيليبس Philips ومانتل Mantell وفيتون Fitton في انكلترا ، وألبرتي Alberti وجينيتز Geinitz ومانستر Manster ، وكانستد Quenstedt في ألمانيا . .

أما مجموعات حيوانات الأرض في العصر الثالث فقد نشرت من قبل : باستروت ، وديزاي Deshayes وغراتيلوب Grateloup ، في فرنسا ، ونيست Nyst ، وغاليوتي Galeotti ، في بلجيكا ؛ وف . ساند برجر في ألمانيا ؛ وبرستويش Prestwich في انكلترا ، وسيموندا Sismonda وبيللاردي Billardi ، في ايطاليا ، الخ . وبحسب المثل الذي قدمه برونيارت ، الكثير من هؤلاء المؤلفين حاول وضع مقارنة أو موازاة بين أراضي مختلف البلدان وأراضي الحوض الباريسي الكلاسيكي .

أما النباتات المتحجرة فلم تنل من الدراسة أقل مما نالته الحيوانات . فمنذ 1800 ركز بلومنباخ Blumenbach على الفوارق بين الأزهار والحيوانات في مختلف العصور الجيولوجية . ولقيت هذه المبادىء تطبيقاً أولياً سنة 1804 عندما قارن البارون فون شلوتهايم Schlotheim الأشكال الحية والمتحجرات في القسم الأول من كتاب المسمى « Flora der Vorwelt » .

واعتبر ادولف برونيارت ، ابن الكسندر ، كأول مؤسس للتشريح المقارن بين النباتات الحاضرة والمتحجرات . واعتبر كتابه : « مقدمة لتاريخ النباتات المتحجرة » (1828) كشفاً . وهو وان اعتمد الأفكار « الثبوتية » و « ثورات العالم » التي قال بها كوفيه Cuvier فقد تصور وجود قانون يحكم كمال الكائنات العضوية ، وهو قانون يرى انتظام الوراثة الجيولوجية داخل الطبقات الكبرى من النباتات . ورسم برونيارت صورة فخمة لأزهار العصر الأولي ادخلها في إطار علم قشرات الأرض (ستراتيغرافيا) فقارن بالتالي بين مختلف الأحواض الفحمية في أوروبا .

واكتسب برنار رينولت Renault ، تلميذ برونيارت شهرة عالمية بأعماله حول تشريح مقارن للاخشاب الصوانية . وتشكل مجموعته من المقتطعات حتى اليوم احدى ثروات الميزيوم أو المتحف .

وعلى أثرها ذكرت أعمال غرانـدوري Grand'Eury وزيلر Zeiller وسبورتا Saporta وشمبر Schimper ولينييه Lignier في فرنسا ، واعمال هير Heer في سويسرا وناثورست Nathorst في

السويد وجينيتز Geinitz وغوبرت Goeppert وغمبل Gümbel وانغر Unger في ألمانيا ؛ وغيدستون Kidston ووليمسون Williamson في انكلترا ، ودوسون Dawson وليكوري Lesquereux في اميركا .

الطبقات الجيولوجية ، والمناطق الاحاثية : ـ في حين نجح بعض الكتاب ، بصعوبة ، في وضع تقسيمات من الدرجة الثانية ، قامت التقسيمات من الدرجة الثالثة في كل بلد دونما أي اهتمام بالتنسيق والترابط ، وارتكزت هذه التقسيمات ، مرة على الطبيعة الليثولوجية (علم الحجارة) للأراضي (الصلصال العجيني أو الكلس الخام في الحوض الباريسي ، وصلصال اوكسفورد في انكلترا) ، ومرة على الحيوانات (طباشير في غريفي Gryphées) . وفي بعض الأحيان اكتفى البعض بترقيمها (الحجارة السيلورية Silurien ، 3،2،1، في النروج والسيلورية A حتى H في بوهيميا ، ثم الجورة ∝ ، β في سواب) . واختيرت أيضاً تعابير محلية (مثل بورت لانديان وغيرها) .

ان التقسيم الفرعي الى طبقات اقترحه ألسيد دوربيني في كتابين اساسيين : « محاضرات أولية في علم الاحاثة» . «والجيولوجيا الطبقية» (1849) ثم «مدخل الى علم الاحاثة القشرية والكونية فيما يتعلق بالحيوانات الرخوية والشعاعية» (1850 - 1852) . وغني عن القول انه تم الاصطدام بمصاعب كبيرة جداً ، فالفجوات بين العصور الكبرى لم تكن تفسر بنفس الطريقة من قبل كل علماء الجيولوجيا ، كما ان الحدود بين الطبقات كانت دقيقة تستعصي على التحديد يومئذٍ .

وعلى كل اقترح دوربيني Orbigny تقسيم الجوراسيك والطباشيري الى 27 طبقة متتالية عينها بنعوت تذكر بالمنطقة النموذجية . وقد عدد في كتابه « المدخل » حوالي20 الف نوع من اللافقريات المتحجرة وزعها بين هذه الطبقات . وكان دوربيني أميناً لأفكار كوفيه فاعتقد ان الحيوانات قد اتلفت في أواخر كل طبقة بكوارث كبرى هي « ثورات الكون » ، وهي ثورات تتطابق في ذهنه مع التمزق الكثير في القشرة الأرضية مما يفسح في المجال أمام حدوث تفاوت في التنضيد القشري بين حدين متتاليين من السلسلة الرسوبية . هذا المفهوم عن التفاوت ، سبق إليه لافوازيه وعبر عنه ايلي دي بومونت ، ووسعه دوربيني وقد دعي لأن يلعب دوراً رئيسياً في تعريف المذاهب والطبقات .

وجدير بالذكر أن نظرية الخلق المتتالي كانت تحارب محاربة شديدة في تلك الحقبة . كتب كونستان بريفوست سنة 1850 يقول :

«اضطررت الى الاعتقاد ، واستمرُ في الاعتقاد أنه منذ اللحظة التي توفرت فيها الشروط الضرورية للحياة فوق سطح الأرض ، لم تنفك النباتات والحيوانات ، المخلوقة بقدرة لم يعد من المسموح للعلم ان يحددها أو ينكرها ، تعمر سطح الأرض بدون انقطاع ، وتحت ظروف تشبه أساساً الظروف التي ساعدت على انتشارها حتى وقتنا الحاضر . ان المخلوقات الاولى أو الأقدم مرتبطة بشكل وثيق ، وبفضل تنظيم مشترك ، بالمخلوقات التي عايشت الانسان ، الى درجة انه يمكن اعتبار هذه وتلك كأجزاء من كلٍ غير قابل للقسمة ، مفهومه هو انه مصنوع وحيد لم يستطع الزمن وأي حدث آخر أو كارثة غير مرتقبة ان تقطعه أو تشل تطوره » .

وبعد 9 سنوات نشر شارل داروين كتابه « أصل الأجناس ». وكان تأثير هذا الكتاب ضخماً في علم البيولوجيا وفي علم الاحاثة وفي علم طبقات الأرض. وتكلم ارشيبالد جيكي Archibald Geikie عن « نوع من الاستغراب واليقظة » اثارتها لدى علماء الجيولوجيا في تلك الحقبة، قراءة الفصلين المخصصين « لعدم اكتمال المستندات الجيولوجية »، ثم « التوارث الجيولوجي بين الكائنات العضوية ». وقد اثبتت البحوث اللاحقة الاستنتاجات الجيولوجية التي قام بها داروين وأثبتت تتابع الأجناس ضمن تتالي الأراضي الرسوبية.

في سنة1854 و1855 بين عالم الاحاثة الألماني ألْبِرِخْت أوبل A. OPPel ان مختلف أنواع الأمونيت تحتل مستويات ثابتة في جوراسيك ألمانيا وسويسرا وفرنسا وانكلترا وأن توزيعها العامودي يتيح تمييز ثلاثٍ وثلاثين مستوىً متتالٍ من الجوراسيك يتميز كل منها بنوع أو أكثر من الأمونيت الموجودة دائماً في نفس المنطقة، في كل بلدان أوروبا التي درسها.

وقد تبع تلاميذه امثولته وهم واجن Waagen ونيوماير Neumayr اللذان وضعا أيضاً سلاسل أخرى تطورية وأثبتا أهمية المناطق الاحاثية في مجال الستراتيغرافيا أو علم قشرات الأرض. وقد تم تجديد جزئي للحيوانات وفسّر أخيراً بوضوح، أما بالتطور الموضعي أو بالهجرات خلال التجاوزات البحرية للأراضي، الدالة على بداية طبقة جديدة.

وهكذا تم استخدام الأفكار الصحيحة جزئياً والتي قال بها كوفيه والسيد دوربيني وكونستانت بريفوت الذين تنبأوا بتجدد الحيوانات اما عن طريق الهجرات، كما يقول الاولان أو عن طريق التطور المكاني في نظر الأخير.

وطبقت الطرق الجديدة على مجموعات اخرى. من ذلك ان المناطق، في غرابتوليت من اسكتلندا، والتي عرّفها لابوارث Lapworth، قد عثر عليها في السويد ثم في فرنسا ثم في اميركا. وكذلك كان حال المناطق في تريلوبيت من العصر الكامبري الخ.

وبعدها أصبح تقدم علم الاحاثة الطبقي سريعاً جداً. وقد امكن رؤية ان هذا المظهر الجديد من علم الجيولوجيا كان مختلفاً تماماً عن علم الاحاثة الخاص. كتب اميل هوغ Haugيقول:

« إذا سعى علم الاحاثة الى إعادة تركيب تسلسل الكائنات فان علم الاحاثة القشري يهدف بشكل خاص الى النظر في تطور الحيوانات والنباتات في الزمان وفي المكان ».

نحو سلم طبقي قشري دولي ـ ان المحاولات الاولى لتقييم تاريخ الأرض الى طبقات تحددها حيوانات ونباتات متحجرة، قد جمعت من قبل ماير ايمار Mayer - Eymar، ثم، في سنة 1873 1874 من قبل اميل رينيفيه E.Renevierاستاذ في جامعة لوزان في كتابه المسمى «جدول الأراضي الرسوبيه». وقد تمت مقارنة الآراء المتنوعة في أول مؤتمر دولي للجيولوجيا عقد في باريس سنة1878، فقام موني شلماس Munier - Chalmas وآ. دي لابارانت A. de Lapparent في سنة 1893 بتقديم سلم ستراتيغرافي (طبقي قشري) موحد للعالم اجمع وذلك في مذكرتها حول « مصطلحات الأراضي الرسوبية ». وقد لقي هذا الجهد ترحيباً حاراً، إذ كان الأكثر بروزاً بعد الجهد الذي بذله

دوربيني. وبعدها استعمل السلم الجديد مباشرة من قبل مصلحة الخارطة الجيولوجية الفرنسية. وقدم أ. رينيفييه E. Renevier الى مؤتمر زوريخ سنة 1894 « كرونوغرافاً جيولوجياً » (مدونة جيولوجية) وهي طبعة ثانية من جدول 1874، بعد أن أغناه بمستجدَّات كثيرة، وبنص تفسيري وبمرجع ستراتيغرافي كوني، ما يزال يستعمل حتى اليوم. وهكذا كان لا بد من انتظار نهاية القرن التاسع عشر من أجل امتلاك سلم حقيقي ستراتيغرافي دولي.

وفيه يقسم مجمل تاريخ الأرض إلى خمسة عصور أو أجيال: ما قبل الكمبري، الأولي، الثانوي، الثالثي، والرابعي.

وفيها عدا العصر السابق على الكمبري، الذي أدخله الجيولوجي الكندي وليم لوغان Logan، يقسم كل عصر الى حقب أو أنظمة: **العصر الأولي وفيه**: الكمبري، السيلوري، والديفوني والفحمي والبرمي. **العصر الثانوي** وفيه: ترياس، جوراسيك وكريتاسي أو طبشوري، **والثالثي وفيه** النوموليتيكي والنيوجيني. **والعصر الرابعي** وفيه بليستوسين وهولوسين.

وكل حقبة تقسم الى طبقات محددة بتجاوز بحري وبحيوانات بحرية خاصة تتضمن متحجرات متميزة. وأخيراً تقسم كل طبقة بذاتها الى مناطق فرعية مقررة سنداً لمتحجرة متميزة.

مدة الأزمنة الجيولوجية: ـ ان هذا السلم التنضيدي ينبيء عن تتالي الترسبات وعن الحيوانات والنباتات، ولكنه لا يعطي أية اشارة حول المدة الحقيقية للأزمنة الجيولوجية. وفي بداية القرن كتب كوفيه وهو يكن أشد الاحترام للنصوص التوراتية، في « خطابه » يقول:

« اعتقد مع السيدين لوك Luc ودولوميو Dolomieu انه يوجد شيء ما مثبت في الجيولوجيا، ذلك ان سطح كرتنا الأرضية كان ضحية لثورة كبرى مفاجئة لا يمكن ان يمتد تاريخها إلى أبعد من خمسة أو ستة آلاف سنة ».

وقد قبل كوفيه بفرضية وجود ثورات أخرى اكثر قدماً إلا انه لم يثبت لها أي عمر.

ان هذا البحث عن العمر الحقيقي للظاهرات الجيولوجية هو موضوع علم الجيوكرونولوجيا « تسلسل تاريخ الأرض » وهو تعبير ابتكره الاميركي هـ. س. وليامس سنة 1893. وقام الجيولوجيون في القرن التاسع عشر بدراسات متنوعة حول هذا الموضوع ترتكز على ظاهرات فلكية، وحول سرعة الترسب وحول سرعة الحت وحول سرعة تطور الكائنات العضوية.

وكانت الحقب الجليدية من العصر الرابع موضوع اهتمام شديد من قبل علماء ما قبل التاريخ. فقد تم البحث عن أسبابها في تغير ميل محور الأرض وفي مختلف الظاهرات الفلكية التي أمكن تحديد مدتها. وقام أحد « الحسابات الاولى » وهو حساب قام به كرول Croll سنة1875، بتحديد مدة البليستوسين Pleistocéne وجعلها مليون سنة، وهذا الرقم قلما عدل فيها بعد. واستخدم مؤلفون آخرون مثل ج. بيروش J. Péroche سنة 1877 تنقل القطبين، وهي فكرة استخدمت بصورة دورية منذ صدورها على يد اليسندرو دغلي اليسندري Allesandro degli Alessandri في القرن الخامس عشر. وعزا ج. ك. جيلبرت G. K. Gilbert تتالي المستويات الطبشورية والصلصالية في كريتاسي

كولورادو الى تتالي الاعتدالين ، وقدر مدة هذه الحقبة بعشرين مليون سنة . واستنتج شارل ليل Lyell وهو يقارن التغييرات الحاصلة للحيوان في العصرين الثالث والرابع ، ان التطور خلال البليستوسين لا يتجاوز $\frac{1}{20}$ من التطور الذي حدث منذ بداية الميوسين . وقبل بالعدد الذي قدمه كرول فحدد بداية الميوسين بعشرين مليون سنة ، وحدد كامل مدة العصر الثالثي بثمانين مليون سنة . وحسب اثنتي عشرة دورة منذ بداية العصر الأول فقدر هذا التاريخ بمدة 240 مليون سنة . ان هذه الأرقام سوف تعدل حتماً في القرن العشرين ، لكنها تدل على الأقل على جرأة وعلى وضوح فكر ش . ليل

حملت دراسة الرسوبات الأولية في الغرب الاميركي ، والكوت Walcott ، في سنة1893 ، على تقدير مدة ترسب 30 سنتم ارتفاع بمعدل 200 سنة مما يعطي 17,500,000 سنة للعصر الاولي ، وسبعة ملايين سنة للعصر الثانوي وثلاثة ملايين سنة للعصر الثالث . هذه الأرقام الأخف بكثير صححت سنة1897 من قبل غود شيلد Goodchild الذي حدد أساس الاولي بسبع مئة وأربعة ملايين سنة : (704ملايين) .

ان التبريد التدريجي للكرة الأرضية كان يومئذٍ مقبولاً بدون نقاش . وفي سنة 1893 اعتقد لورد كلفن Lord Kelvin انه يستطيع تحديد الزمن الماضي منذ جماد الكرة الأرضية بين 20 مليون الى أربع مئة مليون سنة . أما علماء الجيولوجيا وقد اعتادوا على أرقام أعلى بكثير فلم يقبلوا بهذه الاستنتاجات ، ونتج عن ذلك مجادلات طويلة لم تنته الى حل إلاّ في القرن العشرين .

II - نظريات حول تشكل سلاسل الجبال

نظرية فوهات التقبب : ـ ان القسم الأول من القرن التاسع عشر بقي تحت تأثير مدرستين كبريين تأسستا في القرن الثامن عشر : مدرسة فريبرغ Freyberg يضاف إليها نبتونية ورنر، ومدرسة أدنبره Edimbourg يضاف إليها بلوتونية جامس هوتن James Hutton (راجع المجلد الثاني) .

وعلى كل حال بيّنت اكتشافات غيتارد Guéttard وديمارست Desmarest أهمية الصخور البركانية ، مما أعطى الحق للبلوتونيين ثم ان العديد من تلامذة ورنر تخلوا عن طروحات معلمهم .

كان الكسندر فون همبولد Humboldt (1769 - 1859) رحالة كبيراً فزار الأمير كتين من سنة 1799 الى 1804 ـ وبصورة خاصة جبال كورديير دي آند . وكان عالماً نباتياً وجيولوجياً وعالماً بالطقس ، فدرس كل ظواهر هذه البلدان التي لم تكن معروفة تماماً يومئذٍ وجمع العديد من الملاحظات حول الهزات الأرضية والبراكين وحول بنية اميركا الجنوبية ونشر بهذا الموضوع عدة دراسات مهمة (انظر الفقرة V) .

وبعد ان زار ليوبولد فون بوش Buch (1774 - 1853) بركان فيزوف وجزر الكناري ثم منطقة أوفرنيا Auvergne في فرنسا سنة 1802، اكتشف صوابية أفكار غيتار وديمارست وانفصل عن ورنر . وفي أثناء انجازه لنظريته حول فوهات التقبب ،والتي أعلن عنها منذ 1809، تابع ملاحظاته بخلال العديد من رحلاته الجيولوجية . في سنة 1816 وصف البراكين في جزر الكناري، مميزاً «فوهة

التقبب » المؤلفة من ركائز في أصلها أفقية ، ثم تنتصب فجأة بالحدث الذي من نتائجه الاخيرةمخروط الانفجار الواقع في وسط المدرج . ورصد اتجاهات سلاسل الجبال ثم الاعمار النسبية لمختلف الصخور البركانية فنشر [ليوبولد فون بوش] سنة 1824 دراسات أساسية حول دولوميت جبال التيرول وحول هضاب ألمانيا التي وزعها إلى أربعة أنظمة مفسراً تقببها .

وفي سنة1824 أيضاً أعاد كوفيه نشر بحوثه حول العظام المتحجرة وحول ثورات الكرة الأرضية مؤكداً أن جبال الألب قد ارتفعت على عدة دفعات انطلاقاً من عصر الفحم . وفي اميركا نشر جامس د . دانا Dana وغيره ملاحظاتهم ونظريات مماثلة .

ايلي دي بومونت Beaumont ونظرية « الشبكة البنتاغونية » (أي المخمسة الزوايا) : ـ ان السيرة العلمية « لليونس ايلي دي بومونت » بدأت في تلك الحقبة التي كانت فيها نظرية الكوارث التي قال بها كوفيه مدعومة من قبل كل المؤلفين الجيدين حيث ميّز ليوبولد فون بوش (وآخرون غيره) « أنظمة الجبال » من ذوات الأعمار المختلفة واقترحوا كتفسير « فوهات التقبب » اي فقط الحركات العامودية .

في سنة1829 قدم ل . ايلي دي بومونت (1798 - 1874) أمام أكاديمية العلوم ، « بحوث حول بعض الثورات في سطح الكرة الأرضية » وكان تعليق برونيارت وآراغو جيداً لصالحه . وأوضح العمر النسبي للتقبب بفحص مجمل الطبقات المنتصبة . وأكد على ثبوتية اتجاه الطبقات واعتبر ان الاتجاهات المختلفة تتوافق مع سلاسل من أعمار مختلفة رابطاً بالتالي بشكل وثيق بين «أنظمة الجبال» عند ل . فون بوش و « ثورات الكرة » عند كوفيه . فالحركات العامودية « وفوهات التقبب » هي في أصل التضاريس . ان كل ثورة في الكرة قد أحدثت ظهور سلسلة من الجبال ذات اتجاه معين . وقد ميّز ايلي دي بومونت في أول الأمر أربعة أنظمة من التقبب (شاطىء الذهب ، البيرينيه ، جبال الألب الغربية ، وجبال الألب الرئيسية) . ثم رفع هذا العدد الى 9 ثم الى21 في سنة1847،وفي سنة 1852، وفي مذكرة له حول أنظمة الجبال (3 مجلدات) قبل أخيراً بوجود 22 نظاماً من الجبال ، تشكل ثلاث شبكات ذات اتجاهات مختلفة ومتقاطعة لكي تشكل شبكة معقدة حيث يسيطر « التناظر الخماسي » .

وارتكز دي بومونت ككل معاصريه على نظرية تقبض الكرة الأرضية . فبين ان هذا التقبض قد احدث تحدّبات . وجدد النظرية حول تشكل سلاسل الجبال بفعل الحركات التماسية أو الضغط الجانبي الثنائي للرسوبات ، فقدم عنها التفسير الأول الجدي :

يقول : « ان سلاسل الجبال تتطابق أساساً مع الأقسام من قشرة الأرض التي تضاءل امتدادها الافقي بفعل الانسحاق الاعتراضي ، وتوقفت الأقسام الباقية غير ممسوسة من طرف أو آخر فلم تعد مرتبطة فيما بينها بشكل ثابت . فشكلت شبه فكين في ملزمة ضغط القسم الوسيط فيها » .

وبالعكس من ذلك اختار جامس د . دانا الدفعات الوحيدة الطرف ، المؤثرة بصورة دائمة فوق مناطق محيطية ذات اتجاه نحو القارات ، التي تتضخم بفضل سلاسل جديدة .

في حين تمت العودة الى نظرية الحركات التماسية إنما على أسس محددة ، من قبل البرت هيم

Albert Heim سنة 1878، عرفت نظرية « الشبكة الخماسية » نجاحاً فورياً. وإذا كان هناك بعض المعارضين أمثال آمي بوي Ami Boué ، وآدم سدويك A . Sedgwick وكونستانت بريفوست فقد دعم اجماع علماء الجيولوجيا الأصوليين ايلي دي بومونت حتى وفاته سنة 1874 . وبعدها طواها النسيان وتم الانتقال الى النظرية الرباعية الأوجه.

النظرية الرباعية : طرح صاحب هذه الفرضية الجديدة لوسيان غرين Lowthian Green كمبدأ ، ان الكرة التي تتقلص تميل لأن تصبح هرماً مثلث الزوايا أو رباعي الأوجه (1875) . والنظرية الجديدة استقت فكرتها الأولى في كتاب « أرض وسماء » للفيلسوف جان رينود Jean Reynaud واعتمدت بحماس كبير كما عُلِّمت بجدية . وأضاف مارسيل برتران انه بسبب تنقل الاقطاب عبر العصور الجيولوجية تغير موقع الرباعي الأوجه باستمرار ، ونشر برتران سنة 1895 مسقط كل قمة من القمم فوق سطح الكرة الأرضية .

ليل وكونستان بريفوست : نظرية التحيين أو التحيينية : ـ أما الأسباب الميكانيكية للتجعدات والانحناءات فقد قال المؤلفون الأكثر كلاسيكية بنظرية الكوارث التي تؤكد أن التشوهات في القشرة الأرضية وأشكال التربة ،تُعزى إلى ظاهرات فجائية من نمط مجهول في العالم الحالي . وقال شارل ليل Lyell وكونستان بريفوست Constant Prévost بنظرية مختلفة تماماً : التشكل الوحيد النوع أو التحيين . رأى ليل، بعد هوتن « ان الحاضر هو مفتاح الماضي » (مبادىء الجيولوجيا ، 1830 - 1833) وجد ان لكل حقبة جيولوجية نفس الظاهرات المحققة بفعل ذات العوامل وبفعل ذات الأوالية . وذهب بريفوست الى أبعد من هذا فقال ان الأسباب القديمة لم تكن تختلف عن الأسباب الحالية وأنها تحدث مفاعيل مماثلة لتلك التي نستطيع دراستها في الطبيعة الحاضرة . ورغم بعض المعارضة ، تابعت الفكرة طريقها وعلِّمت في « الميزيوم » 1875 من قبل ستانيسلاس مونيي Meunier .

وذهبوا الى أبعد من ذلك فافترضوا انه ، لما كان بالامكان معرفة الأسباب أو المفاعيل ، فبالامكان اعادة استحداث الظاهرات الجيولوجية على مستوى صغير في المختبر . وفي فرنسا قام دوبري وستانيسلاس مونيي بعدة تجارب لم تخلُ من فائدة . ولكن خلفاءهم على الأقل قد اساؤوا استعمال هذه الطرق الناقصة التي كما يقول أ . هوغ قلما تمتلك في أغلب الأحيان غير قيمة تجاربها كفيزياء تسلية .

نظرية الطبقات المائية الزاحلة : ـ في سنة 1878 عاد الجيولوجي السويسري البرت هيم A . Heim الى نظرية ايلي دي بومونت حول تشكل سلاسل الجبال بالضغط الثنائي الجانب ؛ فنشر وصفاً مفصلاً لجبال الألب « غلاريس » ، وتضمن هذا الوصف اثباتات على وجود ثنيات كبيرة مضطجعة ذات الجانب المقلوب المتمدد ووجد لها تفسيراً ميكانيكياً .

ودرس مارسيل برتران Marcel Bertrand (1847 - 1907) جبال الجورا الفرنسية فرفض مبدأ الاتجاه الذي قال به ايلي دي بومونت وتتبع خطوة خطوة الطبقات متبنياً فكرة « الهيئات » أو الوجوه Faciès التي قال بها الجيولوجي السويسري غريسلي (1838). ثم انتقل بعدها الى بروفنسا فاستلهم جزئياً أعمال البرت هيم وأعمال غريسلي ، حول الحوض الفحمي في شمال فرنسا ، فأكد في

سنة 1884 على عمومية ظاهرات التغطية في كل المناطق الكبرى ذات الانثناءات . وفسر مزقة تغطية في بوست Beausset ، بواسطة ثنية راقدة بفعل زحل عدة كيلومترات (صورة رقم 16) . وفي سنة1890 قدم مذكرة « حول الارتدادات التي ثنت القشرة الأرضية وحول دور الزحولات الأفقية » . ثم اكمل آراءه حول « ألب غلاريس » ففسر المظاهر المتنوعة للتضاريس بواسطة البرك الضخمة الزاحلة الآتية من بعيد . وتضمنت مذكرته التي صدرت سنة 1899 حول بروفنسا ، كنواة ، كلَّ المفاهيم المستقبلية حول العلاقات بين جبال الألب الدينارية ، وجبال الألب ، وعلاقات « الزحافة المحدلة » والثنيات التي أرقدتها هذه الزحافة ورققتها تحت ثقلها .

وعرفت هذه النظرية حول البرك الكبرى الزاحلة بعض المعارضين امثال فورنييه Fournier ، ولكنها أغرت الغالبية العظمى من الجيولوجيين ، وخلال عدة عقود فُسر كل شيء بواسطة هذه النظرية . وكان ألبرت هيم وموريس لوجون Lugeon ، وادوارد سويس E . Suess وغيرهم من أنصار هذه النظرية التي جرّت أصحاب نظرية بنيوية أديم الأرض (تكتونيك) لكي يركزوا جهودهم حول سلسلة جبال الألب .

الاّ ان الانكليزي ت . ميلارد ريد T . Mellard Read في كتابه « اصل سلاسل الجبال » (1886 - 1903) قام ضد نظرية التقلص واقترح فكرة الانتشار ، فرأى في التمدد الحراري لاشباه المعادن الموجودة في الطبقات العميقة من باطن الأرض السبب الطبيعي للظاهرات الأوروجينية (التشققية) . وهذه الفكرة سوف يبحثها القرن العشرون .

البراكين : في القسم الأول من القرن التاسع عشر شرح الرأي العام تشكل البراكين عن طريق نظرية فوهات التقبب التي نادى بها الكسندر فون همبولد Humboldt وليوبولد فون بوش، ثم ايلي دي بومونت .

كتب هامبولد يقول : « ليست القضية قضية تراكم الحمم والبقايا . ان ضغط الكتل الملتهبة نفخ التربة فرفعها . وفي الأخير فقط حصل انفجار فرفع القسم الذروي معطياً في بعض الأحيان شكل قبة انفجارية في وسط الفجوة أو الفوهة » .

وكتب ل . فون بوش من جهته أن بركان فيزوف ظهر سنة 79 « كامل التكوين من باطن الأرض » .



الصورة 16 ـ مقطع عام لبروفانسة غرب طولون . ثنية بوست
(مارسل برتران ، ضمن النشرة الاجتماعية الجيولوجية في فرنسا ، 1887) .

وقال ايلي دي بومونت عن بركان اتنا Etna : « ذات يوم فجر العامل الداخلي الذيْ يشق

الأرض غالباً (هذا البركان) ثم رفعه . وبعد ذلك أصبح إتنا جبلاً . وهذا التقبب قد حصل فجأة ومرة واحدة ».

ان تشكل البركان يتم هكذا بخلال مرحلتين في الأولى هناك تقبب يحدث نتوءاً كبيراً ثم فوهة الانفجار .

وعلى كل بذل ليبل وج . بولت سكروب G . Poulet Scrope (الجيولوجيا والبراكين المنطفئة في وسط فرنسا ، لندن 1826) في انكلترا ، وكونستان بريفوست في فرنسا جهوداً ضد هذه الفكرة وعادوا الى فكرة سبالنزاني Spallanzani الذي كتب ، منذ نهاية القرن الثامن عشر وبعد دراسات حول جزر ليباري ان البراكين الكبرى تشكلت بتراكم الحمم ورماد الانفجارات المتتالية .

هذا الفحص للنظريات الكبرى حول تشكل الجبال يكشف لنا التأثير الضخم الذي كان للرجال امثال ليوبولد فون بوش وشارل ليبل وايلي دي بومونت ومارسيل برتران . وبيّن ايضاً هذا الفحص ان بعض النظريات التي تبدو لنا غريبة كانت قد نوقشت بحماس وحفزت على بحوث المتضادين الساعين وراء براهين جديدة .

III – الجيومورفولوجيا (أو علم تشكل الأرض)

اشكال التربة : ـ لم تكن واقعة ان الأشكال الحالية للتربة هي وليدة التشقق والنحت ، بفعل العوامل الديناميكية الخارجية وبفعل الأشكال الأولية المحدثة بفعل التثني والتقبب ، أمراً مقرراً في بداية القرن التاسع عشر . الآ انه منذ العام 1774 نشر غيتارد Guettard دراسة « حول انحدار الجبال المحدثة في أيامنا بفعل الامطار الغزيرة أو بفعل زخات المياه وبفعل الأنهار والجداول والبحار » . ثم انه كان له سابقون امثال ريستورو آريزو Ristoro d`Arrezzo (1282)، وجون ري John Ray وف . جينيريني F . Generini الذين شعروا بالدور الرئيسي الذي تلعبه المياه الجارية في تشكل النموذج . وقام ديماري Desmarest وهوتن وبليفير Playfair ولامارك وآخرون أيضاً بتفسير تجور الوديان بفعل المياه الصاخبة ، ولكن الرأي الشائع كان مع النظرية الطوفانية التي تعزو هذا الحدث الى مياه الطوفان الكوني الذي انصب في المحيط . في هذه الاثناء كرس ل . اغاسيز L.Agassiz نفسه منذ (1836) لدراسة الحت الجليدي فبين في العديد من الأماكن فوق الكرة الأرضية ، وجود شهادات على حركات الجبال الجليدية القديمة .

ان دور وقوانين الحت قد تحددت سنة(1841) من قبل الكسندر سوريل A . Surell في دراساته حول سيول الألب الأعلى ، ولكن فيما بعد بكثير فُهمت الشروط والظروف البنيوية التي تسبق تشكل كل ضرس أرضي . والحدث الذي اشتبه به غيتارد منذ (1774)، ومفاده أن النشاط الدائم للحت ، ان لم يجد ما يعارضه من حركات انبثاقية او تقببية ، ينتهي بتدمير كامل لكل نتوء او ضرس ، هذا الحدث تأكد سنة (1889) على يد الألماني أ . بنك A .Penck الذي نظر إلى هذا التسطح العام على انه « الحد النهائي للحت » . هذا الشكل النهائي للتربة أطلق عليه الجغرافي الاميركي وليم موريس دافيس W . M Davis اسم السهوب .

معجمية الجيومورفولوجيا (معجمية علم تشكل الأرض) :ـ ان جغرافية القرن التاسع عشر كانت يغلب فيها الرياضيات والوصف ، ولكن طرقها تغيرت تدريجياً وتكاملت .

وبذل ايمانويل مارجوري E . de Margerie (1862 - 1953) جهده ليبين ان « الجغرافيا التي ظلت محصورة لمدة طويلة بالتصوير فقط ثم بوصف سطح الكرة الأرضية ، يتوجب لها لكي تصبح تفسيرية ، ان تستند بصورة واسعة ومتزايدة على النتائج الحاصلة في علم الجيولوجيا لأن الحالة الراهنة للقارات لم تكن بكل تأكيد إلاّ تتمة ونهاية منطقية لتاريخها » .

ان أشكال الأرض ، والمناظر تُشرح هكذا بفضل الجيولوجيا ، فقام ايمانويل مارجوري والجنرال لانوي La Noë بإغناء الجيومورفولوجيا بمفاهيم جديدة وبمعجمية خاصة في كتابهما « حول أشكال الأرض » (باريس 1888) . وقد لقي هذا الكتاب استقبالاً وكأنه تحفة في التنظيم والوضوح والدقة . وبيّن هذا الكتاب بشكل خاص كيف أن السطوح التبوغرافية الحالية تنبثق عن أشكال مختلفة تماماً ، الأشكال المتعلقة ببنية الأرض ، « والسطوح البنيوية الأصلية » وذلك تحت تأثير العوامل الطقسية والمياه الجارية بشكل خاص .

ونشر في ذات السنة أ . مارجوري وآ . هيم A . Heim كتاباً بثلاث لغات : عنوانه « تمزق القشرة الأرضية ، محاولة من أجل التعريف والتصنيف » . وهذا الكتاب حدد لأول مرة التسمية والتصنيف لمختلف العوارض التي يمكن أن تصيب القشرة الأرضية (ثنيات ، انحناءات ، وتشقق) مع ما يقابل كل اسم باللغات الفرنسية والانكليزية والألمانية . وبفضل هذين الكتابين أصبح بامكان علماء الجيولوجيا ان يصفوا بعد الآن الأشكال التوبوغرافية ، والأعراض الجيولوجية .

IV - الخارطات الجيولوجية

في حين ان الخارطة التبوغرافية تعبر عن أشكال الأراضي ، تعبر الخارطة الجيولوجية بشكل تسجيلي عن معرفتنا بعمر وبطبيعة الصخور . وتدل الألوان المتنوعة على انتشار تشكلات ، وتدل الاشارات العديدة على نقاط الفرادة (المناجم التحجرية ، والمقالع والمناجم ، الخ . .) . فضلاً عن ذلك هناك ملحوظة تفسيرية تشرح وتكمل دلالات الخارطة .

وقد رأينا في المجلد السابق ان فونتينيل وغيتار كانا مجددين في هذه المادة وان عدة خارطات جيولوجية ظهرت في مختلف البلدان في أواخر القرن الثامن عشر .

خارطة فرنسا الجيولوجية : ـ لقد توقف انجاز الأطلس المعدني لفرنسا ، والذي بدأ به غيتار ولافوازيه بفعل الثورة الفرنسية . ولكن في سنة 1794 ، انشأت « لجنة السلامة العامة » وكالة للمناجم ، كلفتها بجرد الموارد شبه المعدنية في الجمهورية الفرنسية ، وبتكوين مجموعات ثم بوضع دروس تعليمية وبالعودة إلى مشروع « الوصف المعدني لفرنسا » .

وبالفعل في سنة1809 فقط كلف الجيولوجي الشاب من مدينة لياج واسمه ج . ب . أوماليوس دالوا J - B . d'Omalius d'Halloy ، الذي قام برحلات جيولوجية مثمرة عبر فرنسا ـ بوضع « خارطة

معدنية للأمبراطورية الفرنسية ». وانتهت هذه الخارطة الجيولوجية الملونة منذ 1813 ولكنها لم تنشر الا بين 1822 و1828 .

ومنذ 1823 كُلف ايلي دي بومونت ودوفرنوا Dufrénoy بوضع خارطة جيولوجية جديدة لفرنسا . وبعد أن أطلعا ، عبر رحلة دراسية على الأعمال الأخيرة التي قامت بها المدرسة البريطانية ، نفذا تدريجياً هذا المشروع ، مستخدمين بشكل خاص المواد التي جمعها سابقهما . وكانت هذه الخارطة ، مقرونة « بشرح » غير كامل مع الأسف (ثلاثة مجلدات ، 1847 - 1873) قد نُفذت بدقة شديدة بالنسبة إلى عصرها حتى أنّ الخارطة التي نشرت سنة (1889) من قبل ج . فاسور G . Vasseur ول. كاريز لا تختلف عنها بصورة أساسية. وجاءت مصلحة الخارطة الجيولوجية عقب جهاز مؤقت انشىء بمناسبة « المعرض الدولي » لسنة 1867 ، واسندت إلى ايلي دي بومونت ، وقامت بانشاء الخارطة المفصلة من قياس 80 ألف درجة، وظهرت ورقاتها الـ 267 بين 1874 و1912. وفي سنة1889 نشرت خارطة اجمالية كاملة جداً بمقياس 1 على مليون .

فضلاً عن وضع الخارطة نشرت هذه المصلحة مذكرات مهمة تفسيرية أو تكميلية ، ولا يمكن الا التذكير - بين الأعمال الأكثر أهمية - بأعمال ديزاي Deshayes ، وآ. لا بارانت A de Lappa-rent وج . ف . دولفوس G . F.Dollfus حول حوض باريس ، كما لا يمكن اغفال اعمال أودس دي لونشان Eudes Deslongchamps و أ. بيغوت A. Bigot في النورماندي، وأعمال غوسيلي Gosselet في جبال الأردين ، واعمال باروا Barrois في بريتانيا وفي جبال الاردين ، وأعمال بوفينيه Buvignier في منطقة الموز وأعمال برجروز Bergeron في الهضبة السوداء ، وأعمال ب . ترميه P . Termier في جبل بيلات ، وأعمال آ . ميشال ليفي في منطقة مورفان وأعمال م . بول M . Boule في فيلي Velay واعمال آ . دوبري A . Daubrée في الرين الأسفل ، وأعمال ج . ماركو Marcou وج . بوير Boyer ،و . كيليان Kilian حول جبال الجورا ، وأعمال ف . فونتان Fontannes في حوض نهر الرون ، وأعمال ش . لوري Lory ، وو . كيليان . وب ترميه Termier وآ . هوغ Haug وزورشر Zurcher ول . برتران Bertrand في جبال الألب وأعمال ارشياك Archiac حول كوربيير ، وأعمال ليماري Leymerie حول جبال البيرينيه .

الخارطات الجيولوجية في بلدان أوروبا - وظهر نفس النشاط في العديد من بلدان أوروبا . وظهرت أول خارطة جيولوجية مفصلة لانكلترا وبلاد ويلز ولقسم من اسكتلندا على يد وليم سميث الذي بدأ بها بين سنة1794 و1801 ونشرها سنة 1815 في 20 لوناً مقرونة « بمذكرة تفسيرية » قبل ان يضع احدى وعشرين خارطة للمقاطعات البريطانية . وفي سنة 1815 ظهرت خارطة لإيرلندا من صنع ر . غريفث R . Griffith سرعان ما تبعتها خارطة انكلترا وبلاد ويلز من صنع جورج غريناف G . Greenough (1819). وهناك خارطات أخرى تستحق الذكر منها : خارطة اسكتلندا (1836) وايرلندا(1839)، ومجمل الجزر البريطانية (1878) وأخيراً انكلترا وبلاد ويلز (من صنع آ .جيكي A . Geikie ، 1896) . ونذكر اخيراً ان بريطانيا أنشأت سنة 1835 باشراف هـ . ت . دي لابيش de la Beche « المسح الجيولوجي » وهو أول مصلحة وطنية رسمية للخارطة الجيولوجية .

وتـدين المانيـا الى ل . فون بـوش Buch بخارطتهـا الجيولـوجية الأولى الشـاملة (41 ورقـة ، 1826 - 1832) التي استكملت وصححت بالعديد من الخارطات الجزئية وبخارطات اجمالية نشرت سنة 1869 وسنة 1897 (بمقياس 1على 500000 على يد ر . لبسيوس R . Lepsius). نذكر خارطة الشمال من هارز على يد أ . بيريش Beyrich (1851)التي بدت وكأنها الخارطة الأولى الجيـولوجيـة المطبـوعة بالألوان

وبصورة تدريجية وبفضل المصالح المتخصصة المنشأة تدريجياً من قبـل غالبيـة الحكومـات ، في انكلترا (1835) والنمســاوهنغاريا (1849) ، وبفضل روسيا ورومانيا (1882) تمت الخارطات الجيولوجية لكل بلدان أوروبا ، وأمكن تقديم المجموعة الكاملة في المعرض الدولي في باريس سنة 1900 . وكان ذلك بشكل خاص في بلجيكا (1853) ، وفي البلدان المنخفضـة (1867)، وسويـسـرا (1853و1894)، وايـطاليـا (1841 و1881) وأسبـانيـا والبـرتغـال (1864) والنـروج (1865 - 1879)، وروسيـا (1841 , 1845 , 1859) .

ان المحاولات الاولى ، المبكرة اذاً ، من أجل تجميع هذه العناصر المتناثرة شكلت « الخـارطة الجيـولوجيـة لاوروبـا » من صنـع مـورشيســون Murchison وج . نـيـكـولNicol . J (4 أوراق ، 1856) وخـارطـة المسـاح البـلجيكي اندريه دومون A . Dumont ، التي نشـرت على أسـاس معدل 1عـلى3000000 (4 ورقـات ، باريـس ، 1855 - 1857) . وقـرر المؤتمر الجيـولوجي الـدولي في بولـونيا (1881) اقامة خارطة دولية لأوروبا بـالتعاون بـين كل المصـالح ذات الصـلاحية . ورغم الصعـوبة الكامنة في مثل هذه الصيغة ، صدرت هذه الخارطة في49 ورقة بمقيـاس 1عــلى 500000 في برلـين بين 1894 و1913 .

الخارطة الجيولوجية للعالم :- ان فكرة الخارطة الجيولوجية للعالم كانت في الجو ، ولكن توجب انتظار خارطات العديد من القارات ثم تشكيل منظمة دولية بطيئة جداً . ومن أجل استكمال النتائج الحاصلة في اوروبا وفي أميركا اجريت أعمال استكشافية في بلدان مختلفة من قبل جيولوجيين من أوروبا الغربية . وتحقق بالتالي انجاز ضخم ظهر ـ رغم كونه مستوحى في أغلب الأحيان من اهتمامات توسع استعماري ـ كمرحلة أولى من مراحل «المساعدة التقنية». وعلى سبيل المثال نذكر بعض أعمال فرنسية من هذا النوع : محاولة وصف جيولوجي للجزائر من قبل آ ـ بيرون A . Péron (1883)، والتفسير للخارطة الجيولوجية المؤقتة للجزائر من قبـل آ . بومـل A . Pomel (1890) ؛ ثم تلتها أول خـارطة اجمالية لتونس من قبل ف . أوبرت F . Aubert (1892) واكتشاف الفوسفات من قبل ف . توماس Ph . Thomas ؛ ثم اعمال آ . بومل وج . رولان G . Rolland حول الصحراء ؛ ثم اعمال بارات Barrat في افريقيا الاستوائية ودراسات آ . غودري A . Gaudry حول جيولوجيا اليونان وقبرص .

وسـاهم الجيـولـوجيـون الانكليـز من جهتهم بنشـاط في المسـح الجيـولـوجي لمختلف أقـاليم الامبراطورية الواسعة وفي ما عدا كندا التي وضعت خارطتها الجيـولوجيـة من قبل و ـ ي ـ لـوغان W .E .logan (1865 , 1869)،فان أستراليـاوزيلنـدا الجديـدة ، وأفريقيـا الجنوبيـة ، والهند الـخ. قد

استكشفت بذات الوقت الذي وضعت فيه خارطات جيولوجية لهذه البلدان المختلفة ولبعض أقاليمها .

وسوف تقدم ايضاحات ، في مكان آخر ، حول الخارطات الجيولوجية الاميركية . نذكر أيضاً الخارطات الجيولوجية اليابانية الأولى (الجزئية ، 1877 ،1882؛ والاجمالية ، 1900) والاطلس الجيولوجي للصين الشمالية (1855) .

ان هذه الايضاحات رغم أنها مجزأة ، تدل بوضوح على ما كان عليه أول استكشاف للعالم ، استكشاف ، وان كان غير مكتمل على الاطلاق ، الا انه قدم على كل حال معلومات مفيدة عن مناطق كانت حتى ذلك الحين مجهولة بصورة كاملة .

ولكن قبل هذه الحقبة بالذات ، حقبة الاستكشافات الناشطة ، كان آمي بويAmi Boué قد باشر باول توليف (تركيب) في « بحث في الخارطة الجيولوجية للكرة الأرضية»، (باريس 1845 ، ورقة واحدة ومذكرة واحدة). ان هذه المحاولة قد اتبعت بالخارطة الشهيرة « لجيولوجية الأرض » بيد جول ماركو Marcou (8 ورقات بمقياس 1 / 23000 000) وظهرت منها طبعتان (زوريخ ، 1861، وفيينا، 1873) وكذلك شرح لها (1875). وأخيراً صدر «الأطلس الجيولوجي» لهرمان برغوس H. Berghauss (غوتا ، 1892)، القسم الأول من « الأطلس الطبيعي » (طبعة ثالثة) الذي أعطى الخارطات الجيولوجية للقارات الخمس بمقياس موحد 80,000,000.

V - الجيولوجيا في اميركا

اميركا الشمالية : ـ ان احد الأعمال الأولى التي نشرت حول جيولوجية اميركا الشمالية هو من صنع غيتار Guettard الذي قارن في سنة1752 ، وسنداً لعينات من الصخور ومن المتحجرات التي تلقاها، بين كندا وسويسرا، ووضع خارطة جيولوجية تمتد من فلوريدا الى الدرجة 60 من خط العرض الشمالي .

ونشر أول جيولوجي وعالم احاثي اميركي ،توماس جيفرسون Th . Jefferson ، الرئيس الثالث للولايات المتحدة ، أول مذكرة له عن الفقريات المتحجرة في « الجمعية الفلسفية الاميركية للمعاملات » في سنة1797 . ونشر وليم ماكلور Maclure ، تلميذ ورنر Werner، سنة 1809 ، ملاحظات وخارطة جيولوجية ، في حين حرر آ . ايتون Eaton أول دراسة حول الجيولوجية القشرية أو الطبقية ، لولايات الشمال (1818) كما نشر « كتاب الجيولوجيا » مقروناً بخارطة ملونة (1830) .

في حين اخذت تتنظم المرافق الجيولوجية الرسمية ، التي تأسس اولها سنة1830 في ولاية ماساشوستس (ان انشاء هذه المرافق أو المصالح أتاح انجاز الخارطات الجيولوجية الاكثر تفصيلاً في مختلف الدول . وأولى هذه الخرائط ، هي خارطة ولاية نيويورك ، ونشرت سنة 1842. ونشرت خارطات لكندا وللمناطق المجاورة سنة 1865 - 1866 من قبل و ـ أ لوغان بفضل مصلحة « المسح الجيولوجي » المؤسسة سنة1842 . نذكر أيضاً انشاء المصلحة الجيولوجية المركزية في الولايات المتحدة U.S.Geo - Survey ، سنة 1879 وانشاء « المعهد الجيولوجي في المكسيك سنة 1891 » اعاد

أ . هيتشكوك Hitchcock « الجيولوجيا النظرية » للمؤلف لابيش La Beche (1837) ونشر «الجيولوجيا الأولية» (1841) التي طبعت منها ثلاثون طبعة بخلال عشرين سنة . وزيادة على الملاحظات حول الشواطىء الصخرية الصدفية (1842)، نشر ج . د. دانا Dana موجزاً في الجيولوجيا (الكتاب المدرسي للجيولوجيا، 1863) الذي خلف الموجز المصور الذي وضعه أ ـ امونس Emmons(1855)، وظل الأول كلاسيكياً قرابة أربعين سنة . نذكر أيضاً انه في سنة1847 ظهر أول مجلد من ثمانية مجلدات من كتاب « علم الاحاثة في نيويورك » للمؤلف جامس هال ، J . Hall ، وهو كتاب مهم جداً خاصة فيما يتعلق باللافقريات .

يجب ان يضاف الى هذه الأسماء اسماء الاحاثيين و . ش . مارش O .C . Marsh ثم ج . س . نيوبري J . S . Newberry و أ . د . كوب E . D . Cope واسماء الاحاثيين النباتيين ل . ليكوري Lesquereux وج . و . داوسن Dawson وج . س . نيوبري Newberry .

وتستحق بعض مواضيع المناقشات الخاصة بالجيولوجيا الاميركية ان تذكر.من هذه المواضيع الأولى الموضوع المتعلق بآثار الخطوات المكتشفة في الصلصال وفي الدلغام الأحمر في ولاية كونكتيكت في سنة 1845 ميز هيتشكوك منها تسعة وأربعين نوعاً منها اثنان وثلاثون تعزى للطيور . في سنة 1860 اكد ر . فيلد R . Field انها آثار خطوات زحافات ، الأمر الذي تأكد في سنة1863 عند اكتشاف أول هيكل عظمي للديناصور .

وهناك موضوع آخر للنقاش هو مستويات الأراضي التي تكثر فيها المتحجرات السابقة على العصر السيلوري او التاكوني ، وهذه المستويات لاحظها أ . امونس في ولاية ماساشوستس سنة 1841 ، ولكن وجودها لم يقبل إلا بعد اكتشاف نفس المستويات في انكلترا حيث أطلق عليها اسم الكمبري . وبين 1872 و1897 نوقشت طويلاً المسائل المسماة « لارامية » Laramiens وقد طرحها الفصل بين الطباشيرية والعصر الثالثي . وبينت دراسة حيوانات الثدييات في مراسب البحيرات ان العصور الجيولوجية الكبرى ليست مفصولة بالضرورة فيما بينها بتفاوت واختلاف . ونذكر ان دراسة الهضاب العليا في أوتاه Utah حملت س . ي . دوتن Dutton إلى وضع نظريته حول« التوازن الجاذبي الكثافي » (1889) وهي نظرية سبق أن رسم خطوطها ج . ب . آري G.B.Airy وبرات Pratt في سنة 1860 . وهذه النظرية تضع توازناً في الوزن وفي الضغط في كل القشرة الأرضية ، مع تصحيح في المنطقة العميقة بحسب ما إذا كانت الفضاءات المجاورة خفيفة نوعاً ما .

من ذلك انه بخلال القرن التاسع عشر ، ساهمت الجيولوجيا الاميركية الفتية بشكل واسع في تطور الجيولوجيا العامة ، وأكثر من ذلك لقد ارتبطت بالجيولوجيا الأوروبية اكثر مما سوف تصبح عليه في القرن العشرين ، وذلك حين اتجه الجيولوجيون في العالم الجديد الى قصر بحوثهم على قارتهم بالذات . ان هذا التفكير يمكن أن يطبق أيضاً على الجيولوجيين من أوروبا وآسيا الذين قلما عرفوا اميركا .

اميركا الجنوبية : ـ ان الخطوط الكبرى للجيولوجيا في اميركا الجنوبية قد تحققت أيضاً في القرن التاسع عشر

نذكر في البداية الاكتشافات العديدة للعظام المتحجرة ، التي حدثت بخلال القرن السادس عشر وحتى القرن التاسع عشر في مختلف مناطق هذه القارة ، وهي اكتشافات بعثت تأويلات كيفية نوعاً ما ، الى أن أتاح تقدم علم الاحاثة في أواخر القرن التاسع عشر اجراء دراسة معمقة . (يراجع في هذا الموضوع بحث ج . بيفيتو J . Piveteau القسم 5 ، الكتاب 2 ، الفصل 2). ولعبت البعثات العلمية الكبرى المتعددة دوراً عظيماً في الاستكشاف الجيولوجي في اميركا الجنوبية . انطلق همبولد Humboldt برفقة بونبلان Bonpland سنة 1799 فزار المكسيك وكوبا وفنزويلا وكولومبيا وصعد إلى قمة جبل شمبورازو (6072 م) وهو أحد اجمل براكين خط الاستواء ، وعاد سنة 1804 وحرر « رحلة إلى المناطق الاعتدالية في العالم الجديد » (ستة أقسام 1805 - 1828).

ويجب ذكر عدة دراسات أخرى لهمبولد : « وضع صورة لجيولوجيا اميركا الجنوبية » (جورنال دي فيزيك Journal de Physique 1801) « بحث في معارف طبقات الأرض (جيونوستيك) حول مكامن الصخور في نصفي الكرة الأرضية » (1826) ، مقدمة للتركيب الكبير الذي نشره بعد 1847 تحت عنوان « كوسموس » (الكون) .

ومن سنة1826 الى سنة 1834 قام السيد دوربيني Orbigny برحلة الى بوليفيا وإلى باتاغونيا فدرس العصر الأولي في جبال الاندس وبعض المتحجرات الكلسية في الشيلي .وبذات الوقت كانت جولة السفينة بيغل Beagle حول العالم ، مع شارل داروين Ch . Darwin على متنها الذي زار شواطىء الشيلي واكتشف « المتحجرات الحية في جزر غالاباغوس » .

ومن سنة 1857 إلى سنة 1859 سافر الأخوان غرانديديه Grandidier من البيرو الى الشيلي مروراً بالأرجنتين والبرازيل واجتازا جبال كورديير دي اندس وجمعا مجموعات مهمة من أشباه المعادن ومن الصخور . وفيما بعد ، في سنة1882 شارك الجيولوجي هيات Hyatt في الرحلة الى كاب هورن ثم في سنة 1885 حتى سنة 1900 قام الجيولوجي الألماني هـ.ستيفن H . Steffen باستكشاف جبال الاندس الجنوبية .

إلى جانب هذه الرحلات الاستكشافية الكبرى قدمت بحوث محلية عديدة ايضاً عناصر مهمة حول التعرف على القارة . فعدا عن البراكين ، جذبت نقاط عدة انتباه الجيولوجيين : الحيوانات البحرية الاولية والثانوية ، الطبقات الفحمية في بروموترياس ، ثم الحيوانات من الثدييات الثالثية والرابعية . ثم أزهار غلوسوبتريس التي اكتشفت سنة1869 . وبصورة تدريجية قدمت مناجم الفحم في البرازيل والأرجنتين أنواعاً من الزهور الغريبة حيث اكتشف فيها ج . بودنبندر Bodenbender و ر . زيلر Zeiller (1895 - 1896) وجود أجناس أوروبية وأجناس « غوندوانية » بآنٍ معاً . وكان أول هجوم ، غير إرادي ، ضد وجود « غوندواني » بالذات التي ابتكرها سويس Suess سنة 1888. نذكر اخيراً اكتشافات الثدييات المتحجرة التي قام بدراستها الاحائيان الارجنتينيان ف . ك . أميغينو F . C . Ameghino سنة1886 .

ان الأعمال الجامعة أخذت تنتشر بصورة تدريجية مثل أعمال هارت C . F . Hartt حول الجيولوجيا والجغرافيا في البرازيل سنة1870 . وأعمال الدكتور كريفو Crévaux وش . فيلان Vélain

حول غويانا الفرنسية، 1866 . ونذكر أيضاً أعمال ت . ولف T . Wolf في الاكوادور ، ثم في البرازيل ، وأعمال ف كاتزر F . Katzer (حوالي سنة 1840) وأعمال هـ . غورسيكس H . Gor-ceix مؤسس مدرسة المناجم في أورو بريتو سنة 1876 ، وأعمال أوسيبيو بولو دي اوليفيرا Eusebio Paulo de Olivera ، منشيء المصلحة الجيولوجية الوطنية . ونذكر ايضاً العمل الاستكشافي المهم لدراسات التربة الذي قام به في أواخر القرن الجيولوجيون والمهندسون الذين عملوا في مشروع قناة باناما وحفرها .

وكانت الخارطة الجيولوجية الأولى هي من غير شك خارطة المنطقة المنجمية في باسكو في البيرو والتي نشرت من قبل م . دي ريفيرو M . de Rivero (1827) .

ويمكن ان نذكر فيما بعد الخارطة الجيولوجية لجنوب انطيوكيا (كولومبيا) على يد ك . ديجنهارد Degenhardt (1839)، والخارطة الجيولوجية والمعدنية للشيلي على يد اينياس دوميكو Ignace Domeyko (1846) وخارطات المناطق المنجمية لميناس جيراس Menas Geraes في البرازيل من قبل كلوسن Claussen وبيسي Pissis (1841 - 1848) وخارطة بوليفيا والمناطق المجاورة بقلم دافيد فوربس D . Forbes (1861) وخارطة جمهورية الأرجنتين بيد ج فالانتين J . Valentin « في القاموس الجيوغرافي الأرجنتيني » بقلم ف . لتزينا Latzina (1897) وذلك بعد خارطة البرازيل بيد و . آ . دربي O . A . Derby سنة1884 .

وظهرت أول خارطة إجمالية لقارة اميركا الجنوبية سنة1842 على يد آ . دوربيني وقد نشرها بعد نشره عدة خارطات محلية اقليمية . والخارطة الثانية هي التي وضعها ج . ستينمن Steinmann ونشرت في الأطلس الفيزيائي لهرمن برغوس Hermann Berghaus سنة1892 .

VI ـ انتشار المعارف

تعليم الجيولوجيا : ـ حتى أواخر القرن الثامن عشر لم تكن علوم الأرض ، الا نادراً موضوع تعليم منتظم . ولكن النجاح الكبير الذي لاقته المحاضرات التي ألقاها ورنر في أكاديمية المناجم في فريبرغ ابتداءً من سنة 1775 ، ثم انتشار التطبيقات العملية للجيولوجيا ، حملت مختلف الدول على انشاء مدارس المناجم وكذلك ادخال علوم الأرض في برامج بعض الجامعات أو المعاهد العلمية المتنوعة .

من ذلك انه في بداية القرن التاسع عشر كانت الجيولوجيا تعلم في فرنسا في المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي ـ الذي حل محل (منذ 1793) « بستان الملك القديم ». وقد تمتع المتحف بمكانة محترمة جداً يعود الفضل فيها الى نوعية جهازه التعليمي (امثال كوفيه ، ولامارك ، وجو فرواسانت هيلر ، وفوجاس دي سانتفون Faujas Saint Fond الخ) ـ على منبر التاريخ الطبيعي في كوليج دي فرانس ـ الذي اسند الى دوبنتون Daubenton ثم الى كوفيه Cuvier، ثم اقترن في سنة1837 بانشاء تعليم « التاريخ الطبيعي للأجسام غير العضوية». وقد أسند هذا التعليم الى إيلي دي بومونت ـ . وأخيراً عملت الجيولوجيا في مدرسة المناجم التي اسست سنة 1778 لتأمين المهندسين

اللازمين لجهاز المناجم ، وقد تعرضت هذه المدرسة لعدة اصلاحات قبل ان تنتهي في سنة1816 الى بنية مستقرة . وفيما بعد امتد تعليم علم الأرض الى كليات العلوم في حين ان روح هذا العلم اتبعت حتماً تطور العلوم .

لا شك انه في آخر القرن كتب و. كيليان الاستاذ في جامعة غرينوبل يومئذٍ يقول : « اننا نشاهد تعداداً باذخاً لطبقات المتحجرات وأسمائها التي يبدو تعدادها وجدولتها هما الهدف الأسمى الذي يتحدى فضول المستمعين . ان عدم جدواها الظاهر يصدم التهيؤات ويتعب العزائم ».

ولكن وبصورة تدريجية نشأ هيكل لعقيدة حية عرف بعض رؤساء المدارس كيف يعرضونه بشكل يشوق سامعيهم . وبعدها لم يعد الأمر مجرد نزهة حزينة ضمن مقبرة كبيرة ، بل أصبح بعثاً للعوالم القديمة الحية واحيائها على يد الجيولوجيين في كل المجالات .

وفي بداية القرن التاسع عشر قلما اسند تعليم علوم الأرض في بريطانيا الا الى جامعتي اوكسفورد وكمبريدج ـ حيث تثبتت، طيلة سنواتٍ طوال الشخصية القوية لكل من بوكلاند Buckland وسدويك Sedgwick ـ وفي جامعة أدنبره ـ في بادىء الأمر على منابر التاريخ الطبيعي والفلسفة الطبيعية والتي أوكلت في بداية القرن إلى روبرت جامسون R.Jameson وجون بليفير Playfair، ثم على منبر خاص انشىء سنة 1870 من قبل سير آ . جيكي A .Geikie . الا ان دافي Davy خصص مكاناً لعلوم الأرض في محاضراته الأولى في المعهد الملكي المؤسس سنة1799 في حين اسندت كلية الملك في لندن ، المنشأة حديثاً ، إلى شارل ليل Lyell مهمة احداث تعليم للجيولوجيا . وبخلال القرن امتد هذا التعليم الى جامعات أخرى متعددة وإلى مؤسسات علمية أو تقنية ، وبدرجة أولى إلى مدرسة المناجم التي أسست سنة 1851 .

في حين ان تطوراً مماثلاً قد ظهر في غالبية بلدان أوروبا ، عرفت اميركا أيضاً نمو تعليم علوم الأرض . وكانت «ريال سميناريو ميناريا » في مكسيكو (1792 - 1811) أول مدرسة في العالم الجديد متخصصة في فن المناجم . وفي الولايات المتحدة تأسس تعليم الجيولوجيا سنة 1804 ، في جامعة يال ، من قبل بنجامين سيليمان B . Silliman الذي أصبح جيولوجياً ممتازاً ، وأسس «أميركان جورنال أوف سيانس » American Journal of Science (1818) . أما جيمس دوايت دانا (1813 - 1895) فبعد أن كان مساعداً لسيليمان ، أصبح أستاذ التاريخ الطبيعي ثم استاذ الجيولوجيا وعلم المعادن (1864) . وكان لتعليمه أثر ضخم ودائم . وأُنشئت منابر مماثلة بصورة تدريجية في الجامعات الأخرى ، مما أتاح في العاجل أمام الولايات المتحدة ان تحتل مكانة مختارة في مجال البحث الجيولوجي .

الجمعيات الوطنية : ـ ان تقدم المعارف قد سرّع بفضل الجمعيات الجيولوجية التي انشئت بخلال القرن والتي نظمت عدة اجتماعات ومناقشات حول التربة ونشرت مستندات مهمة .وأقدم هذه الجمعيات هي جمعية لندن الجيولوجية التي انشئت سنة 1807 . والجمعية الثانية كانت الجمعية الاميركية الجيولوجية ، التي أسست في « يال » سنة 1819 ، أيام رئاسة ماكلور Maclure . وحُلّت هذه الجمعية سنة 1829 وأعيد انشاؤها سنة1888 أيام رئاسة جامس هل J . Hall . واتخذت سنة 1889 اسم الجمعية الجيولوجية الاميركية ونشرت دورية ابتداء من سنة 1890 . وكانت الجمعية الثالثة من حيث تاريخ الانشاء « الجمعية الجيولوجية الفرنسية » التي اسست سنة 1830 والتي أتاحت نشراتها المهمة تتبع تقدم

الجيولوجيا الفرنسية ، نذكر أيضاً انشاء « الجمعية الجيولوجية الألمانية » في برلين سنة 1848 وانشاء « الجمعية الجيولوجية الايطالية » في بولونيا الايطالية سنة 1881 .

الكتب : متوسطات وموسعات : ـ وكان للتعليم الشفوي والمناقشات العامة تتمة طبيعية في الكتب .

وقد شاهد القرن التاسع عشر صدور الكتب الكبرى الأولى في علم الجيولوجيا . في فرنسا صدر كتاب الجيوغنوزيا أو علم طبقات الأرض للمؤلف أوبويسون دي فوازان Aubuisson de Voisins (1819) وبقي هذا الكتاب كلاسيكياً لمدة طويلة مع كتب موجزة لكل من ج . لا متري Métherie وبروشانت دي فيليه Brochant de Villiers . واستبدل كتاب الجيوغنوزيا بكتاب مبادىء الاحاثة والجيولوجيا . . . (1849 - 1852) لالسيد دوربيني ، ثم بالكتب التعليمية التي وضعها البرت غودري A . Gaudry الذي خلف من 1871 الى 1903 ، دوربيني في كرسي الاحاثة في الميزيوم . وتضمنت كتب الإحاثة وعلم الاصداف الذي وضعه ب . فيشر Fischer سنة 1887 وكتاب الاحاثة ل ف . برنار F . Bernard سنة 1895 فصولاً ممتازة حول علم البيئة . ونشير أيضاً الى الكتب الموسعة المهمة جداً التي وضعها البرت دي لاباران Lapparent، استاذ في المعهد الكاثوليكي في باريس بعنوان : الجيولوجيا (1883) ، المينيرالوجيا أو علم أشباه المعادن (1884)، وكتاب الجغرافيا الفيزيائية (1896)، ثم مبادىء في علم المتحجرات النباتية (باليوبوتانيك) لـ ر . زيلر (R . Zeiller) (1900) .

ورغم أهميتها . فلا نستطيع الا الاشارة الى : الوسيط الجيولوجي ل . هـ . دي لابيش La Beche (لندن 1831) والى مبادىء في الجيولوجيا (3مجلدات لندن 1831 - 1833)من ليبل وكذلك الكتب المتنوعة التي نشرها ج . برستويش Prestwich وارشيبالد جيكي Geikie في بريطانيا ، وهرمن كردنر H . C edner في ألمانيا وملكيورنوماير M . Neumayer في النمسا ، وكلها كتب عالية القيمة ، أعيد طبعها عدة مرات وتدل على تقدم مهم محقق في مجال الجيولوجيا في العديد من البلدان .

المؤتمرات الدولية ـ عقد المؤتمر الأول الدولي للجيولوجيا في باريس سنة 1878 . ومنذ ذلك الحين، تتشكّل هذه الاجتماعات كل أربع سنوات مبدئياً . وخارج هذه الجلسات العملية وخارج الاتصالات اثناءها قامت رحلات استكشافية كبرى جيولوجية بهذه المناسبة في البلد المنظم . وهكذا في نهاية القرن التاسع عشر اصبحت طرق التعليم والنشر المهمة راسخة في مجال علوم الأرض .

* * *

سطح الأرض أو وجهها:ـ ان الحدث الأكثر أهمية في أواخر القرن كان نشر المؤلف الضخم للجيولوجي النمساوي ادوار سويس E . Suess (1831 - 1914)، وكان استاذاً في جامعة فيينا وعنوان الكتاب : (وجه الأرض la Face de la Terre). وقد ظهرت مجلداته الأربعة بين 1883 و1908. وتضمن هذا الكتاب كل المعارف الجيولوجية في القرن التاسع عشر ومنها : تمزق القشرة الأرضية ، الخطوط الموجهة في النظام الألبي ، البحر المتوسط الكبير (تيتيس Thétys)، الصحراء، غوندواني، اميركا ، تاريخ المحيطات ، التاييد، توريد ودبناريد ، العلاقات والبنية في جبال

الألب والحملايا . الانخفاضات الكبرى الافريقية ، كورديير دي اندس ، نظرات حول تدوينات علم الاحاثة الاحيائية (باليو بيوجيو غرافيا Paléobio - géo - graphie) .

هذا المركب الواسع الذي يطرح أسس بنية العالم ترجم الى الفرنسية (في سبعة أقسام ، بين 1897 و1918) من قبل أ . دي مارجيري Margerie ومعاونيه الذين أغنوا النص الاساسي بملاحظات وشروحات في الهامش مفيدة والحقوا به ملحقاً تصويرياً . وقد أحدث الاستقبال الظافر لهذا الكتاب « وجه الأرض » هزة فقال عنه مارسيل برتران Bertrand في مقدمة الطبعة الفرنسية :

« من الواجب معرفة الانتظار والصبر . ان انشاء أي علم ، كخلق العالم ، يتطلب اكثر من يوم . ولكن خلفاءنا سوف يكتبون تاريخ علومنا ، وسيقولون ، وأنا على يقين من هذا ، ان كتاب م . سويس Suess يدل في هذا التاريخ على نهاية اليوم الأول وهو يوم تجلى فيه النور » .

القسم الخامس

علوم الحياة

ان كلمة بيولوجيا تذكر بدراسة العمليات المولدة للحياة ، وهذه الكلمة ظهرت على عتبة القرن التاسع عشر سنة 1802 ، وقد ابتدعها بآنٍ واحد وبصورة مستقلة كل من لامارك وتريفيرانوس Trevir-anus .

وإذا كان هناك في السابق محاولات لمعالجة مسائل من هذا النوع ففي تلك الحقبة فقط بدأ التحليل الدقيق والمنهجي للمادة الحية وللقوانين العامة التي تحكم مسارها . وهو تحليل كشف عن الوحدة الأساسية بين قاعدتي العالم الحي . ان تمثيل طبيعة خالدة جامدة الى الابد امر لم يتحرر منه كبار الماديين في عصر النور وقد تراجع أخيراً بخلال القرن التاسع عشر أمام الهجمات المتكررة التي تصدت له . لقد اكتشف الفكر في كل مكان الانتقال أو التغير في الزمن كما اكتشف الترابط في الفضاء . وبعد معارك طويلة وصعبة ، جرت حول مسألة نشأة الانسان وحول نظرية التطور ، الذي هو موضوع رئيسي في البيولوجيا في القرن التاسع عشر أصبح درس علوم الحياة مؤهلاً للتكون بعد استبعاد كل لجوء الى الاعتبارات غير العلمية ، الداخلة في مجال الميتافيزيك والتيولوجيا أو العلم الإلهي .

وأثناء تطور البيولوجيا السريع ركز هذا العلم اهتمامه الخاص - حتى اثناء متابعته لوصف ولتصنيف العالم الحي - على مسائل تطور الكائنات . وتشعبت البيولوجيا الى علوم متعددة خاصة ، محددة بشكل ضيق نوعاً ما ، وذلك اثناء توسع المعارف وتقدم التقنيات . وعلى كل حال ان هذه التخصصات المتنوعة ، المستحدثة بالكشف التدريجي على تعقيدات الأشياء لم تكن الا طرقاً مختلفة من طرق التحليل موجهة نحو هدف إجمالي واحد هو دراسة الطبيعة .

هذه النهضة العجيبة في علوم الحياة بخلال القرن التاسع عشر تميزت بآن واحد ببعث طرق الرصد والمراقبة والتجريب المتزايد الدقة ، وباستخدام تقنيات مبتكرة ذات إمكانيات لم تكن معروفة قبل ذلك الحين ، كما تميزت بصياغة النظريات الجريئة ذات المصائر المتنوعة ، وبانتشار البحوث التفصيلية . ومن اجل توضيح الخطوط الموجهة والمظاهر الرئيسية لتلك المرحلة المهمة في تاريخ علوم

الطبيعة ، توجب علينا اعتماد خطة منهجية . ومن أجل تلافي الصفة المصطنعة دائماً في مثل هذه التقسيمات بذل مؤلفو الفصول المتتالية جهدهم كي يضعوا في بحوثهم نوعاً من الترابط يتسم بصلابة الخطة أو التصميم التي لا بد منها . من جراء هذا ذكرت مسائل متنوعة في عدة فصول ، إنما تحت أضواء مختلفة تتيح بآنٍ واحد إعطاء صورة أكمل وجذب الانتباه نحو بعض المصاعب في التفسير .

وهكذا يقسم مجمل علوم الحياة إلى ثلاثة أقسام كبرى (أو كتب). يعالج الكتاب الأول مسائل متعلقة ببنية وبعمل الأجهزة الحية ، ويدرس أول الأمر نشأة النظرية الخلوية والمجالين العلميين المرتبطين بها وهما «السيتولوجيا» و «الهيستولوجيا» أي علم الخلايا وعلم الأنسجة . وخصص فصلان مهمان (الزوولوجيا أو علم الحيوان والبوتانيك أو علم النبات) للعديد من الأعمال المتعلقة بدراسة أشكال الحيوانات والنباتات (مورفولوجيا) واحصائها وجردها وتصنيفها وجغرافيتها . وتلت وصف بدايات الميكروبيولوجيا وعمل باستور Pasteur دراسة تقدم فرعين متوازيين من التحليل التجريبي لوظيفة الأجهزة الفيزيولوجية النباتية والفيزيولوجية الحيوانية .

ان الكتاب الثاني « ولادة الأشكالGenèse des formes » يذكر في بادىء الأمر ولادة ثم ازدهار مجالين علميين قريبين جداً : التشريح المقارن وعلم الإحاثة بالنسبة الى الفقريات . وبعدها يأتي فصلان يتعلقان بمسائل التوالد الحيواني (التناسل وعلم الأجنة) ثم تناسل النباتات ، وهما من المسائل التي جدد درسها بصورة كاملة بخلال القرن التاسع عشر . وبدا شارل داروين (Charles Darwin) صورة مسيطرة في علم الاحياء بخلال النصف الثاني من القرن ، وشَاهِدُ عملِهِ وتأثيره البالغ ثابتان في الفصل المخصص للنظريات التفسيرية حول التطور . وبعد التصوير للأعمال الأولى حول علم الوراثة التي لم تعرف اهميتها الاّ في فجر القرن العشرين، يعالج الفصل الأخير من الكتاب الثاني مسألة ما قبل التاريخ البشري ، وهي مجال علمي عرف القرن التاسع عشر ولادته . وقد أثار هذا العلم مناقشات حامية ، وهذا الفصل في بعضٍ من مظاهره يربط دراسة علوم الحياة بدراسة الجيولوجيا وبعلوم الأرض .

أما الكتاب الثالث والأخير فمخصص للعلوم الطبية التي عرفت في القرن التاسع عشر نمواً ضخماً . هذه النهضة المرتبطة بشكل متزايد الوضوح بتقدم البيولوجيا، تدل وتهيىء النجاحات الفخمة في طب القرن العشرين .

الكتاب الأول

البنيات والوظائف

الفصل الأول

النظرية الخلوية. السيتولوجيا (علم الخلايا). والهيستولوجيا (علم الأنسجة)

ان التشريح المقارن كما رآه كوفيه Cuvier وتلامذته، يعلل بنية الكائن الحي عند مستوى الأعضاء دون بلوغ العناصر التي تكوّنها ودون بنيتها الأساسية، (راجع بهذا الموضوع دراسة ج. بيفيتو J. Piveteau الفصلان 1 و 2 من الكتاب2)وهذه البنية سوف تصبح بخلال القرن التاسع عشر موضوع فرع خاص في علم البيولوجيا، اسمه الهيستولوجيا ومكونه الأساسي الخلية؛ الهيستولوجيا سوف تصبح ثابتة وتتوضح مولدة بدورها مجالاً علمياً خاصاً هو السيتولوجيا (أو علم الخلايا).

بيشات رائد الهيستولوجيا: ـ هناك رائد عظيم لهذه العلوم الجديدة ظهر في بداية القرن، هو كزافييه بيشات Xavier Bichat (1771 - 1802). عيّن بيشات سنة 1795 لكرسي التشريح في كلية الطب في باريس. وبذل فيه نشاطاً مدهشاً كاستاذ وكباحث. وفي سنة1800 نشر سلسلة من المؤلفات البديعة منها: «بحوث فيزيولوجية حول الحياة والموت» (1800)، «كتاب الاغشية» (1800). «التشريح العام المطبق على الفيزيولوجيا وعلى الطب» (1801). وكفت هذه الكتب لكي تخلد ذكراه. وما من شك انه لو بقي حياً لكان لعب دوراً كبيراً في التطور اللاحق للبيولوجيا.

وتجاوز بيشات مفهوم العضو لكي يبرز العناصر التي تكونه، ولهذا فقد اجرى تجاربه على الحيوان الحي مستعملاًتقنيات خاصة «التشريحُ، المرث والتعفن ثم السلق، الخ»... وبدأ علم الهيستولوجيا معه.

كتب يقول: «ان الحيوانات كلها هي مجموع من أعضاء متنوعة يساهم كل منها، وهو يؤدي وظيفته على طريقته، في حفظ المجموع. انها أشبه بآلات خاصة في الألة العامة التي هي الفرد. ولكن هذه الآلات الخاصة تتألف بذاتها من عدة أنسجة ذات طبيعة مختلفة جداً تشكل حقاً الأعضاء... انْ الكيمياء لها أجسامها البسيطة، والتشريح له انسجته البسيطة التي بتداخلها تشكل الأعضاء».

وقد ميّز بين واحد وعشرين نسيجاً، بعضها خاص ببعض الأعضاء مثل العضلات والنسيج

العصبي ، وبعضها مشترك بين كل الأعضاء ، ومن بين هذه الأخيرة النسيج الخلوي ، « الذي نسميه اليوم النسيج الملحمي » ولم يستطع بيشات التوصل الى العنصر الأساسي في كل هذه الأنسجة أي الخلية بالذات . ولكن مفاهيمه وأعماله جعلت منه مؤسس علم التشريح العام للحيوانات .

ولادة وتطور النظرية الخلوية : ـ ان الخلية بذاتها قد عرفت منذ القرن السابع عشر في النباتات بفضل الغشاء السليلوزي الذي يحيط بها ، وذلك من قبل الملاحظين المختلفين الكبار أمثال ر . هوك . R . Hooke وليوينهوك Leeuwenhoek ومالبيجي Malpighi وغرو Grew (وكان هوك أول من استعمل كلمة خلية في كتابه المسمى ميكروغرافيا في سنة 1665) . وقد أدركها ليوينهوك في الكريات الحمر من دم الأسماك (بل إنه صور نواتها) كما شاهدها في الحيوانات المنوية .

وبخلال القرن الثامن عشر نشأت في ألمانيا تيارات معادية للمادية الفرنسية . وكان « لفلسفة الطبيعة » التي تطورت في هذا البلد ، على أثر أعمال ليبنيز Leibniz وكانت Kant تأثير كبير على توجه علم النبات . وتمتع شيلنغ Schelling ، حوالى سنة 1800 بمركز ضخم ، فعلّم طروحاته المثالية الشهيرة حول « الروح الكونية » وهي مبدأ وحدة الكائنات العضوية التي ليست الاّ تفسيرات مادية متتالية لهذا المبدأ ، تفسيراتٍ تقع عند مستويات تزداد رفعتها ولا ترتبط فيما بينها بأي رباط حقيقي . وانه ، وإلى حدٍ بعيد ، تبعاً لهذه الفكرة المثالية قد ازدهر العلم في ألمانيا كما نشأ بشكل خاص « علم الاجنة » والنظرية الخلوية .

وابتداءً من سنة1805 اخذت بوادر النظرية الخلوية ترتسم في مؤلف العالم الطبيعي الألماني لورنز اوكن Lorenz Oken وفيما بين 1824و 1830، بشكل خاص اعطت اعمال علماء النبات الفرنسيين دوتروشي Dutrochet ، وتوربين Turpin وبريسو دي ميربال Brisseau de Mirbel، هي التي اعطت للنظرية أطرها الأساسية . ان فردانية الخلية معترفٌ بها فيها ، وكذلك قيمتها كعنصر أساسي في بنية النباتات .

في سنة(1812)استطاع الألماني مولدنهاور Moldenhawer عزل الخلايا النباتية مستعملاً اسلوب المرث . واستطاع دوتروشي Dutrochet، عن طريق غلي اجزاء من النباتات في الاسيدفيتريك ، ان يعزل كذلك ، في سنة 1824 ، الخلايا المسماة خلايا مالبيجي وميربال Mirbel ، وسعى إلى البحث عن مثيلاتها عند الحيوانات .

ونشر توربين في سنة1826 كتاباً عنوانه ذو دلالة : « ملاحظات حول الأصل والتشكل البدائي للنسيج الخلوي ، فوق كل من حويصلات هذا النسيج المعتبرة وكأنهاإفراديات متميزة ، لها مركز حيوي خاص للانبات والانتشار ، ومخصصة لتشكيل ـ عن طريق التجميع ـ الذاتية الفردية المؤلفة من كل النباتات التي يتضمن جهازها اكثر من حويصلة » .

وتتبع ميربال Mirbel سنة1831 ، في (مارشانيتا Marchanita) (كبديات أو طحالب Hépati-ques) ، تشكل الخلايا اثناء تبرعم الغبيرات (Spores : جسيم صغير في اللازهريات وظيفته احداث التناسل اللاّشقي) . واستنتج من ذلك توالد الخلايا بعضها من بعض . وفي سنة 1808 قام الالماني

تريفيرانوس Treviranus بمراقبات من ذات النوع . وقدم ي . ماير E . Meyer في كتابه الوسيط في علم النبات (1830) تعريفاً لتكوّن النباتات شبيهاً بتعريف توربين . واخيراً ، وفي سنة1831 ، في انكلترا ، لاحظ العالم النباتي ر . براون R . Brown ، في خلايا الجلد الأعلى في مختلف انواع الاسكليبديات والاوركيدات وجوداً دائماً لجسيم سماه النواة . وقد أدرك عموميته .

ولا بد من إفراد محل خاص لِـ فليكس دوجاردان F . Dujardin الذي صحح وهو يدرس البروتوزوويـر Protozoaires الأخطاء التي ارتكبها ارهنبرغ Erhenberg حين عزا اليها بنية تشريحية معقدة وجهازاً كاملاً من الأعضاء . وكان الميكروسكوب قد حقق تقدماً ضخماً بفضل علماء البصريات أمثال شيفاليه وأوبرهوزر Oberhaüser وآميسي Amici الذين حققوا عدسات صافية (سبق استعمالها منذ سنة1758 في المناظير الفلكية) .

كتب دي جاردان سنة(1841) في مقدمة كتابه التاريخ الطبيعي للنقاعيات Infusoires : « ان الوضوح الحاصل بفضل التكبيرات من عيار 300 الى 400 قطر ، يعلمنا البحث بواسطة عيوننا عن الشكل الحقيقي وعن بنية الأجسام بدلاً من التحزّر عليها من خلال إطار غامض ومبهم » .

واعترف دوجاردان Dujardin ان بعض المنخربات (Foraminifère) (غرومي وميليول Gromie وMiliole) ليس لها اعضاء متميزة بل تتكون فقط من مادة حبيبية تستطيل بخيوط متشعبة طويلة ورفيعة أو تشكل كتلاً واسعةً وقابلةً للتغيير . وأطلق دوجاردان على هذه المادة الاسم الذكي ساركود Sarcode (1835) . وللأسف زال هذا الاسم المعبر وحل محله كلمة بروتوبلاسم المستعملة في سنة 1839 من قبل بوركيني Purkyne ، وكرسها العالم النباتي . هـ . فون موهل Mohl للخلايا النباتية . وتماهت كلمة بروتوبلاسم وكلمة ساركود حوالي سنة 1850 ، واستعملت عموماً بهذا المعنى منذ ذلك الحين . ومع ذلك فإن ريماك Remak (1850) وماكس شولتز Max Schultze هما اللذان اعطيا لكلمة بروتوبلاسم الاستعمال بالمعنى الحديث .

وكانت بنية البروتوبلاسم بعد ذلك موضوع العديد من الأعمال التي من بينها تذكر بشكل خاص اعمال ناجيلي Naegeli ، وبوتشيلي Bütschli و . ف . فليمنغ Flemming، وفي زمن ملاحظات دوجاردان اكتشف جوهانس موللر ، وبوركيني وفالنتين خلايا مماثلة لخلايا النباتات في الحيوانات وفي مختلف الأنسجة والغضروف والغدد والأغشية الخ .

ورغم أن النظرية الخلوية قد نشأت في فرنسا خصوصاً ، الاّ أنها أُعتبرت بوجه عام من انجازات العالمين الألمانيين الطبيعيين : ماتياس جاكوب شليدن Mathias - Jacob Schleiden (1804 - 1881) استاذ مادة النبات في جامعة ينا والعالم الحيواني تيودور شوان Théodor Schwann (1810 - 1882) الذي عمل يومئذٍ في برلين . وهذان العالمان هما اللذان صاغا في سنة 1838 و1839، تصميم فكرة الخلية كعنصر أساسي في الأجهزة . وقد حفظت الأجيال اللاحقة ، بصورة موجزة ربما ، اسم هذين الرجلين الكبيرين اللذين يدينان لمن سبقهما بالكثير . الا انهما ، بفضل زيادة فعاليتهما وحماسهما قد حصلا الآن على التكريم الرمزي .

والواقع ان شليدن Schleiden وشوان Schwan وقد عملا منفردين ، لم يعرفا اكتشاف الأصل الحقيقي للخلايا . فاعتقدا ان الخلايا تنتج عن تكثف مادة خاصة هي سيتوبلاستيم ، وانه حول الحبية الأساس « النواة » تتكون النواة ثم عليها تتجمع مادة البروتوبلاسم التي تتميز بغشاء يحيط بها .

والحقيقة ان كل خلية تنبثق عن قسمة خلية سابقة ، وهذا ما قرره كثير من العلماء الألمان امثال النباتيين فون موهل ، ونيجيلي ، وهوفمستر Hofmeister والفيزيولجيين ريماك Remak وآ . كوليكر Kölliker الخ . واشمل الاخصائي في علم الأمراض رودلف فيرشو Virchow هذا التشكل لخلايا الدمامل والصديد ، وصاغ في سنة1858 في كتابه الشهير « الخلايا والباتولوجيا »، كمعطى أساسي واطلاقي، المسلمة : الخلية تولد الخلية .

وإذاً في حوالي منتصف القرن التاسع عشر تكرست النظرية الخلوية وعممت على مملكتي الحيوان والنبات . وسرعان ما لعبت دوراً في الفلسفة وفي العلوم الانسانية . ومن أهم نتائجها الرئيسية انها ساعدت على اكتشاف الطبيعة الوسيطية للكائنات ذات الخلية الواحدة أو البروتوزوير ، والتي ليست لا حيواناً ولا نباتاً (راجع بهذا الموضوع دراسة الآنسة آ. تتري Tetry الفصل اللاحق) (وهذه الفكرة هي فكرة بوري دي سان فانسان Bory de Saint Vincent واعمال هيكل Haeckel) : وهذه الفكرة كانت مادة ثمينة استولت عليها النظرية التطورية .

فضلاً عن ذلك كان علم خاص هو السيتولوجيا في طور المخاض وسوف ينهض بسرعة بفضل سلسلة من الأعمال خارجة عن نطاقه ، خاصة اعمال ناجيلي ، وفون موهل وهوفمستر. وبين سنة1830 و1838 بيّن العالم النباتي الألماني ف . ج . ف . ميين Meyen ان الخلية تحتوي على عدد من الأجسام المختلفة . وفي النصف الثاني من القرن قدمت مساهمات ذات أهمية قصوى من أجل معرفة بنية البروتوبلاسما والنواة والغشاء الخلوي . وخلال هذه الحقبة تم حل مسألة التكاثر الخلوي .

الانقسام الخلوي ـ : في غالبية الحالات تنقسم الخلية الى خليتين وليدتين . وقد توجب التمييز بين نمطين من هذا الانقسام . في الانقسام الأول المسمى بالمباشر ، يتمدد جسم الخلية وتتمدد بذات الوقت نواتها ثم يستدقان في الوسط وينفصلان الى قسمين : ولكن هذا الأمر هو حالة نادرة جداً . أما الاسلوب الأخر ، وهو الأعم ، فهو الانقسام غير المباشر ، وهو تفاعلية كثيرة التعقيد اطلق عليها عدة أسماء منها: السينيز Cinèseالسيتوديريز Cytodiérèse أو ايضاً الميتوز Mitose أو كاريو سينيز Caryocinèse . ولكن هذه الاسماء الاخيرة تدل بشكل خاص على انقسام النواة . ويبدو هذا الانقسام واحداً وموحداً في المملكتين،وقد توضح فيما بين سنة1870 و1890 بفضل استحداث تقنيات دقيقة تتيح تفحص الخلايا بالميكروسكوب. وهذه الامكانية الأخيرة آنية ومباشرة في حالة الأنسجة أو الأعضاء التي تشكل شفرات رقيقة جداً لا تحتوي الا على طبقة او طبقتين من الخلايا . ولكن في حالة الأنسجة أو الأعضاء الضخمة لا بد من اللجوء الى التقطيع المصطنع وهذا التقطيع الرقيق جداً (بعض اجزاء من ألف جزء من الملم) يحصل بفضل آلات خاصة اسمها ميكروتوم Microtomes . وبعد لصق الاجزاء المقتطعة فوق صفائح من الزجاج ، تلون بتلوينات خاصة لا تتلف بنياتها ، عندها تصبح صالحة للنظر من خلال الميكروسكوب .

وقد تم انجاز عدد ضخم من الأعمال في هذا المجال ونكتفي هنا بذكر اسماء السباقين الكبار في مجال هذه البحوث : ادوار ستراسبورجر E . Strasburger (1844 - 1912)وبعده ليون غينار Léon Guignard (1852 - 1928) بالنسبة الى النباتات . ثم ولتر فليمنغ W . Flemming (1843 - 1915)وأدوار فان بينيدن Ed . Van Beneden (1846 - 1910)، واوتو بوتشلي Otto-Bütschli (1848 - 1920)، واوسكار Oscar(1849 - 1922)، وريشار هرتويغ R . Hertwig (1850 - 1937)، وتيودور بوفيري The . Boveri (1862 - 1915) بالنسبة الى الحيوانات .

الكاريوسينيز Caryocinèse أو الميتوز mitose (أي انقسام الخلية النباتية الراقية بشكل غير مباشر) : ـ نذكر بايجاز كيف يتم انقسام النواة في الخلية أو ما يسمى بالكاريوسينيز؛ يتغير مظهر النواة ، وتدل تقنيات التثبيت والتلوين على ظهور اجسام (انواع من الدقائق تسمى كروموزوم) بعدد ثابت (في كل نوع) ، تتلون انتقائياً بفعل بعض المواد (الملونات القاعدية : باز) . وبعد ظهور الكروموزوم سرعان ما تتفسخ بحسب اطوالها . ويزول الغشاء النواتي ، وعندها تتجمع الكروموزوم في وسط جسم متكون من خيوط وتسمى مغزل . وأثناء المراحل التالية تنفصل أنصاف كل كروموزوم ثم تتجه باتساق وتجانس نحو قطبي المغزل منسابة من خلال الخيوط المغزلية . وهكذا تتكون نواتان جديدتان متساويتان بدقة ومعادلتان للنواة الاصل . وبذات الوقت يتكون في منتصف الخلية الأصل غشاء يفصل بين الخليتين الجديدتين .

ان عدد الكروموزوم ثابت دائماً في انسجة كل نوع معين . ويرمز اليه بالرمز (2 n) . وثبوتية هذا العدد لها دلالة أساسية ، فالكروموزومات تشكل المادة الأساسية المكونة للخصائص التكوينية والوراثية في كل نوع . ومعرفة أنماط انقسام الخلية كانت بالتالي اكتساباً ذا أهمية أساسية فيما خص البيولوجيا .

والمؤلفان الرئيسيان لهذا المكتسب العلمي كانا ادوار ستراسبرجر بالنسبة الى النباتات (من سنة 1875 الى سنة1884) وولتر فليمنغ بالنسبة الى الحيوانات (من سنة 1879 الى سنة1882) .

السيتولوجيا النباتية : ـ عدا عن هذه الأعمال الأساسية حول النواة وحول انقسام الخلية يجب ان نذكر في مجال السيتولوجيا Cytologie النباتية البحوث الجميلة التي قام بها آ. ف. و. شمبر Schim-per شمبر و آ . ميير Meyer (1881 - 1886) حول اعضاء صغيرة في السيتو بلاسما Cytoplasme ، ذات أهمية أساسية في التركيب التصويري (فوتوسنتيز) ، هي ما يسمى بالبلاست Plastes؛ بحوث ساش Sachsحول الفجوات Vacuoles، وبحوث انجرUnger، وهنستين Hanstein حول خلايا النقطة الانباتية ، وبحوث آ . باين Paen ول . مانجين Mangin في الاغشية الخلوية ، وخاصة بحوث فيفر Pfeffer وهـ . دي فري Vries وهي بحوث سنذكرها فيما بعد .

تطور الهيستولوجيا : (علم الخلايا) : ـ الى جانب التقدم الحاصل في مجال معرفة الخلية وانقسامها تطورت معرفة مختلف الانسجة في الخلية التي تعتبر عنصرها الأساسي ، كما تطورت معرفة الدم بكرياته الحمر وكرياته البيض والتي تشكل هي ايضاً خلايا . وهكذا تشكل علم الخلايا أو

الهيستولوجيا الذي توسع مجاله بذات الوقت مع علم الاستطباب او الباتولوجيا . واقترن قيام هذا العلم الجديد باسماء سلسلة من المؤلفين امثال جاكوب هنل J . Henle (1809 - 1885)، وكارل ريشارت Reichert (1811 - 1883) ، وروبرت ريماك R . Remak (1815 - 1865) ، والبرت فون كوليكر A . Von Kölliker (1817 - 1905) وفرانز ليديغ Leydig (1821 - 1908)، ورودلف فيرشو R . Virchow (1821 - 1902)، وويلهلم ولداير W . Waldeyer (1836 - 1921) وكلهم اشتغلوا في ألمانيا حيث لقي التقدم والخصب في البحوث مساعدة بفضل انتشار المختبرات وتجهيزها الحسن . ونذكر أيضاً .ف .فيدوفسكي Vijdovsky (1849 - 1939) ، في براغ .

وفي فرنسا كان مختبر لويس رانفيه I . Ranvier (1835 - 1922)، في كوليج دي فرانس مهد مدرسة هيستولوجية كاملة . واحتل رانفيه في تطور الهيستولوجيا مكانة عظيمة بفضل أصالة وأناقة الطرق التي ابتكرها ، فتفوق على التقنيات التافهة . ودرس على مدرسة كلود برنار فبدت هيستولوجيته فيزيولوجية وتجريبية بدلاً من أن تكون وصفية خالصة . وإليه يعود الفضل بشكل خاص في تحقيق الانجازات الحاسمة في معرفة بنية وعمل عناصر الجهاز العصبي .

ودرست هيستولوجية الجهاز العصبي بفضل تقنيات خاصة (التلوين باملاح الفضة والذهب الخ) وفي هذا المجال يجب ذكر اسماء كل من كاميلو غولجي Camillo Golgi (1844 - 1926)، استاذ في بافي ، وستيفان آباثي S . Apathy (1863 - 1922) في كلوج ، واسم غوستاف رتزيوس G . Retzius (1842 - 1919) في ستوكهولم ، وخاصة س . رامون اي . كاخال Ramón y Cajal (1852 - 1934) استاذ في مدريد . ان الترابط بين الخلايا العصبية (المسماة نورون من قبل ولداير Waldeyer) ونهاياتها أو أطرافها في مختلف الأنسجة ، قد جددت المعرفة بالمراكز العصبية وخاصة معرفة الدماغ وعمله . وهكذا أصبح الهيستولوجيا حقل بحوث أساسية جددت دراسة الأنسجة والأعضاء .

الفصل الثاني

الزوولوجيا أو علم الحيوان

ان الغرض الأساسي من الزوولوجيا هو وضع جرد بالأشكال الحيوانية ثم اجراء تصنيف منهجي لهذه الأشكال ثم تحليل بنتيها وتطورها (نموها) وعلاقاتها المتبادلة وروابطها مع الوسط المجاور. ويؤدي هذا التحليل الى معرفة المظاهر الأساسية لظاهرات الحياة ، وهو مجال البيولوجيا العامة .

في القرن الثامن عشر نالت الزوولوجيا اطاراً مجدداً تماماً بفضل عمل ليني Linné الذي اوضح مفهوم النوع ووضع مدونة منهجية شكلت ركيزة متينة لتصنيف. على هذا الأساس توسعت ونهضت نهضة سريعة .

هذا التوسع وتوجهه انطلقا في بداية القرن التاسع عشر بفضل عمل مارك وكوفيه ، واتيان جوفروا سان‌هيلر، هذا العمل الذي وضع أسس الآناتوميا أي التشريح المقارن واعطى للتصنيف قيمة توليف لتاريخ الحياة وذلك باقتراحه تبعية متبادلة بين مختلف مجموعات المملكة الحيوانية .

وإذا كان جرد الأشكال الحيوانية قد شكل مشروعاً واسع النطاق في بداية القرن التاسع عشر فان انتشاره الهائل قد حكم بفكرة القربى الحقيقية داخل كل مجموعة وفيها بين المجموعات ذاتها ، مما يعبر عن حد التطور الذي هو الرمز الأكبر للزوولوجيا في القرن التاسع عشر .

I - مناهج وتنظيم البحث

في القرن التاسع عشر عرفت العلوم التي تهتم بالكائنات الحية نهضة خاصة مهمة . ويعتبر تحسين التقنيات المتنوعة ، المرتبط بتقدم العلوم الفيزيائية والكيميائية سبباً جزئياً لها . وأتاحت ، بشكل خاص التحسينات التي أدخلت على الميكروسكوب ، والحصول على استعدادات أفضل ، مراقبات اكثر دقة وأكثر تفصيلاً .

الميكروسكوبيا والتقنيات المرتبطة بها . لقد أصبح الميكروسكوب آلة عمل بعد تحسين الشبحيات الأكروماتية Objectifs [اي التي تزيل ظلال الألوان في العدسات] ، وبعد ادخال تقنيات التغطيس أو

الغمر، وبعد اختراع الميكروسكوب ثنائي الأعين الخ . (يراجع في هذا الموضوع دراسة ف . ابيلس Abelès القسم 3، الفصل 1) . ومنذ سنة 1878 انجز اميل ابّي Abbe جهازاً متقدماً جداً شكل آلة عمل مرضية .

يقتضي استعمال الميكروسكوب تحضير المقتطعات . وأسلوب التقطيع باليد لا يلائم الأنسجة الحيوانية ، فعمل علماء الزوولوجيا بصورة رئيسية عن طريق التشريح . ونجح فالانتين Valentin وبوركيني Porkiné في تقطيع شرائح من الأنسجة بواسطة جهاز من سكينين متوازيين . الأول مقطاع مجهري (ميكروتوم) صنع حوالي سنة1866 من قبل و . هس His ، وقد حقق بصورة ميكانيكية انسياب الشيء المراد قطعه.وحوالي سنة 1874 جعل ل . رانفيه Ranvier استعمال هذا الجهاز اكثر سهولة في حين ان عالم النبات ريفيه Rivet صمم جهازاً كانت شفرته تتحرك بصورة ميكانيكية. وبمساعدة رجل تقني انجز آ . براند Brandt نمطاً آخر من الشفرات تتحرك فيه الشفرة والشيء بآن واحد وسمي مقطع ليزر براند Leyser - Brandt .وهناك أنماط أخرى متنوعة ابتكرت في السنوات اللاحقة ومنها مقطع فيفر Pfeifer ، وثرلفال Threlfall وأخيراً مقطع مينوت Minot وهو النمط المعتمد حالياً (1886) .وتغشية القطعة المراد قطعها بالبارافين ، وهو أمر دعا إليه كليبس (1869)، دخلت في التطبيق العادي حوالي سنة1880 . وكان آ . ميير Meyer (1883) وهو أول من الصق الشرائح فوق الشفرات بواسطة زلال البيض . واستعمل لاتو Latteux السلولودين الذي به استطاع دوفال Doval (1879) ان يغطي الأنسجة الطرية . وفي أواخر القرن تقريباً استعمل إسم « كندا » لتحضير المستحضرات . أما تقنية المقتطعات المجمدة وهي اليوم ذات اعتبار شديد فتعود إلى راسبل Raspail والى ستيلن Stilling (1842) .

وتختلف المثبتات المستعملة باختلاف موضوع الفحص هل هو خلية أم نسيج . وقد جهد السيترلوجيون (علماء الخلية) والهيستولوجيون (علماء الأنسجة) في العثور على صيغ تعطي نتائج اكثر فاكثر ارضاء .

واستعمل آسيد كروميك من قبل هانوفر Hannover (1840) ومن قبل آ . كورتي A . Corti (1850) . ولاحظ هذا الأخير ان الأسيد آسيتيك هو مثبت للنواة . وادخل ريماك سنة 1854 مزيج آسيد كروميك مع آسيد آسيتيك . واستعمل هـ . مولر Müller (1859) بيكرومات البوتاسيوم ، وكذلك كلورور الزئبق في سائل غودبي Goadby واستعمل هذا الأخير أيضاً من قبل كورتي (1851) وريماك (1854) . وظهرت المثبتات المركبة ، الزنكر والالتمان سنة 1894 والفليمن Flemming . وفي سنة (1893) تثبت ف . بلوم F. Blum من خصائص الفورمول .

وفي سنة1894 انجز « التمان » . تقنيةً لنزع الرطوبة في درجات الحرارة المنخفضة سوف تستعمل بشكل واسع في القرن العشرين باسم التجفيف بالتجميد (Freeze Drying) .

أما الملونات الحيوية التي عرفت منذ القرن الثامن عشر فما تزال تستعمل . وهكذا استعمل اهرنبرغ Ehrenberg (1838) النيلة لتلوين الجيوب الهضمية في النقاعيات . واستعمل كورتي Corti (1851) الكارمن للظهارة الحلزونية (الأذن الداخلية) .

وفي سنة1858 وضع فون جيرلاش Von Gerlach تقنيات تلوينية مراقبة ومنمذجة . وأتاح اكتشاف مشتقات الأنيلين على يد و . بركين W . Perkin (1854) الحصول على سلسلة متنوعة من الملونات . واستعمل أول ملون آنيليني في آسيد آسيتيك من قبل بينيك (1862) في حين ان بوهمر Böhmer (1865) استعمل الهيماتوكسيلين المتبلر وفي حين طبّق بُوتشر (1869) التلوين التفارقي الذي سبق وأنجزه العديد من الهيستولوجيين . واستعمل اهرليك Ehrlich الصفرانيين وأدخل الهماتوكسيلين الحمضي كمثبتٍ للون .وميز بين الملونات البازية (القاعدية) ذات التآلف النووي ، وبين الملونات الأسيدية أو الحمضية ذات التآلف السيتوبلاسمي وبين الملونات الحيادية المستعملة للدم . وفي سنة 1899، اقترح فليمنغ Flemming التلوين المثلث وأضاف اليه ماير Mayer (1892) الهيمالون. وجمع الميكروتوميست فادميكوم Microtomist's Vade - Mecum الذي وضعه بولس لي Bolles Lee (1885) مختلف الانجازات المحققة في هذا المجال .

السيتوكيميا (أو كيمياء الأنسجة) : ـ هذا العلم كان يهدف الى تحديد الطبيعة الكيميائية للمكونات الخلويَّة ، ورغم ان استعمال اليود كمحرض فاعل في الآميدون (النشاء) يعود الفضل فيه الى كولان (Colin) والى كلوبري Cloubry (1814)، فإن ف . ف راسبيل F . V . Raspail كان المؤسس الحقيقي للسيتوكيميا ، فقد أدخل الاختبارات في التقنية الميكروسكوبية ، متعرفاً على هوية البروتينات (1829) بفضل طريقة تتوافق مع التفاعلات الثلاثة المستعملة حالياً . وانجز ف . شولز F . Schulze دوروستوك (1850) اختباراً للسلولوز . واستخدم ماكس شولتز Max Schultze(1865) التترا اوكسيد دوسيميوم لتلوين الشحومات في الأنسجة الحيوانية في حين استعمل ل . رنفيه لنفس الغرض أزرق الكينولين ، واستعمل دادي L . Daddi (1896) « السودان III »، واستعمل ب . اهرليك P . Ehrlich (1886) ملوناً حيوياً آخر هو أزرق الميتيلين للأنسجة العصبية .

تقنيات متنوعة : ـ ولدت تقنيات عديدة في القرن التاسع عشر . فأدخل راسبيل Raspail الترميد الميكروسكوبي ، وهي طريقة في التحليل لم تقدر وتتطور الاّ في القرن العشرين .

وتشكلت التقنيات في علم الأجنة ابتداءً من سنه(1880) وبواسطة المشارط والإبر الناعمة استطاع ر. زوجا R .Zoja (1895) ان يفصل بين الخليات البلاستولية [وهي خليات تتولد عن انقسام البويضة في المراحل الأولى من تكوّن الجنين] في البويضات المجزأة في قناديل البحر وشرَّح ي . ديلاج Y . Delage (1899) البيضات غير المشققة في التوتياء Oursins . وأدخل كابري Cabry المحرك الميكروسكوبي سنة (1887). واستعمل دريش Driesch سنة(1893) اسلوب الخض لفصل الخليات البلاستولية (بلاستومير) . ومنذ سنة(1884) لجأ و . رو W . Roux . الى الفصل القذفي لدراسة بويضات الضفادع . وفي سنة (1865) ثبت اونيموس Onimus ومارتان Martin نبضات القلب على صفائح من الكولوديون . وصور أ . موبردج E . Muybridge الحصان ماشياً وراكضاً (1870 - 1882) . وفي سنة (1882) استعمل ج ـ ماري J . Marey الفوتوغرافيا لتحليل حركات الناس والحيوانات وابتكر آلات التصوير التوقيتية (كروتوفوتوغراف) ذات الصفيحة الثابتة وذات الصفيحة المتحركة ، واستعمل بارودة كرونوفوتوغرافية لدراسة طيران الطيور ، وهي جهاز كان

في أساس نشأة السينماتوغرافية (آلات التسجيل السينمائية) التي بُدىء بها سنة 1893 بواسطة كينيتوسكوب اديسون ، وهو أول جهاز للمناظر المتحركة فوق فيلم .

أطر المجهود الجماعي : ـ كما هو الحال في المجالات العلمية الأخرى أثار انتشار المعارف الزوولوجية جهوداً جماعية ، ثم في بادىء الأمر انشاء جمعيات متخصصة ،ومنها الجمعيات اللينية (نسبة إلى ليني Linné) التي تشكلت في بداية القرن التاسع عشر وعرفت فرنسا عدداً كبيراً من هذه الجمعيات ما يزال بعضها قائماً حتى اليوم ، وان كان نشاطها قد تضاءل جداً . وفي الخارج ما يزال منها بعض الشركات الناشطة مثل الجمعية اللينية في لندن . ومنها أيضاً الجمعيات الزوولوجية التي أُنشئت في فرنسا وفي انكلترا (1826) وخارجها ، والتي ما تزال ناشطة جداً ، وغيرها أيضاً من الشركات المتخصصة مثل الجمعيات الانتومولوجية [اي التي تبحث في علم الحشرات] هذه الجمعيات المتنوعة أمنت نشر وانتشار العديد من الأعمال ذات المنهجية .

وكان لعلماء الطبيعة والحيوان بشكل خاص دور ناشط في الاجتماعات السنوية التي تقيمها الاتحادات العلمية الكبرى التي انشئت في ألمانيا (ل . اوكن ، L.Oken 1822)، ثم في انكلترا (1831)، ثم في فرنسا الخ . وهي اجتماعات كانت تسبق المؤتمرات الدولية في الزوولوجيا في أواخر القرن : باريس (1889) ، موسكو (1892)، وليد Leyde(1895)، وكمبريدج (1898) .

ويجب ان نشير ايضاً الى تأسيس أو انتشار المتاحف ، في العديد من المدن ، حيث يتأمن حفظ وعرض الأجهزة المدروسة من قبل الباحثين على الجمهور . وفي المقام الأول هناك المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي في باريس ثم المتحف البريطاني للتاريخ الطبيعي في لندن . وفي الولايات المتحدة عرف متحف نيويورك كيف يجمع بين العرض الدقيق والحي للطبيعة ، أمام الجمهور ، ثم تجميع المستندات بشكل منهجي لاستعمال المتخصصين . ونمت متاحف مشابهة ، ومراكز بحوث في العديد من المدن والجامعات مثل شيكاغو وبرنستون وسان فرنسيسكو ، ومؤسسة سميثونيان في واشنطن ، وجامعة يال . ونذكر بشكل خاص المتحف الزوولوجي المقارن القائم في جامعة هارفارد ، بفضل ل . اغاسيز ، والمطور بفضله ابنه آ . آغاسيز .

أما الحظائر والجنائن الزوولوجية ، والتي تعود في نشأتها الى العصور القديمة ، فقد عرفت نمواً كبيراً بخلال القرن التاسع عشر .

وفتحت حظيرة المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي والتي انشئت سنة 1793 ، امام الجمهور في مطلع القرن التاسع عشر واغنت هدايا ملوك افريقيا المجموعات . وفي سنة 1826 قدم باشا مصر لملك فرنسا زرافة كانت الأولى التي وصلت إلى فرنسا حية ، وقد شكل مجيئها حدثاً مهماً .

كان الاهتمام الأول للجمعيات الزوولوجية ان تنشىء جنائن زوولوجية وكانت اولى هذه المنشآت قد فتحت في لندن سنة1827 . ثم تلتها تباعاً جنائن دوبلن 1831 وبريستول 1835 وفيلادلفيا 1874 ، وسنسيناتي 1875 ونيويورك1899 ، وملبورن 1865 الخ . وفي المانيا انشئت الجنائن الزوولوجية في برلين سنة 1844 وفي العديد من المدن الأخرى من قبل شركات مساهمة . نذكر أيضاً افتتاح حدائق زوولوجية

في كوبنهاغن 1859 وفي ستوكهولم وبال 1873 وفي هوغهولمن Hogholmen (فنلندا 1891). نذكر أيضاً انشاء أولى الجنائن الزوولوجية الكبرى للتأقلم (باريس 1860، موسكو 1863 ، لشبونة 1833 ، الخ). وبذات الوقت تنظم استيراد الحيوانات المتوحشة في همبورغ 1845 . وأخيراً نذكر انشاء أولى أحواض الأسماك والمائيات (في برلين 1869، وبرايتون ونيويورك الخ).

وفي حين تزايد عدد الدوريات العلمية العامة ، المنشأة بفضل الاكاديميات والجامعات ومختلف الجمعيات ظهرت أولى المجلات المتخصصة ، وهي أدوات الجمعيات الزوولوجية والمختبرات ، أو النشرات المستقلة مثل مجلة الفيزيولوجيا التجريبية 1819 ، حوليات العلوم الطبيعية 1824 ، محفوظات مولر 1834 ، الطبيعة 1869 الخ . كما ظهرت أولى النشرات البيبلوغرافية (المكتبية) مثل السجل الزوولوجي 1864 ، الدليل الطبي (اندكس مديكوس Medicus) 1879، السجل الزوولوجي الألماني 1880 الخ . . .

II ـ تصورات جديدة حول الزوولوجيا أو علم الحيوان

الصنافة أو علم التصنيف والمنهجية أو علم المنهجة (Taxonomie et systématique) . ـ في الطبعة العاشرة من (سيستيماناتورا) أو النظام الطبيعي (1758) ، وصف ليني Linné 4370 صنفاً . وقد تزايد هذا العدد بسرعة ، وبنسب ضخمة جداً . ومن هنا نشأت الحاجة إلى بذل الجهد من أجل التصنيف .

وقد عملت التصنيفات القديمة وهي بناءات تحكمية على تجميع الحيوانات ، بحسب تشابهها وتنافرها . وكان التركيز بشكل خاص على أهمية الصفات السطحية وعلى أسلوب الحياة . وجر هذا المفهوم الى أخطاء تبدو لنا اليوم غير معقولة ، ناتجة بقسم منها مهم عن التشويش واللبس بين أعضاء متشابهة وأعضاء متقارنة .

وقد قسم ليني الحيوانات الى ست طبقات : ذوات الأربع ، الطيور ، الضفدعيات أو القازبيات ، الأسماك ، ثم الحشرات والديدان في سنة 1806 ميز لامارك في كتابه جدول المملكة الحيوانية بين الحيوانات ذات الفقرات (والتي سميت فيما بعد الثدييات والطيور والزواحف والأسماك) والحيوانات غير الفقرية مثل (الرخويات ، والحلقيات والصدفيات والعنكبوتيات والحشرات ، والديدان المعوية والشعاعيات والمجوفات Polypes) . وفي سنة 1807 أضاف اليها ، النفاخيات أو النفاثات Infusoires التي كانت مصنفة مع العنكبوتيات ، ثم حشرت بين الرخويات والحلقيات والهدابيات . وتضمن تصنيف ، أربع عشرة مرتبة . اما تصنيف كوفيه فمختلف تماماً (المملكة الحيوانية ، 1817) . وعرف « أربعة أشكال رئيسية ، أربع خطط عامة » عليها بنيت كلّ الحيوانات . وهذه الخطط تتوافق مع تقسيمات الفقريات والرخويات والمفصليات والاسفنجيات أو المريجات ، ويمثل كتاب « المملكة الحيوانية » لكوفيه كتاباً أساسياً ترتكز فيه التصنيفات على التشريح المقارن وحيث تقترن دراسة الأنواع الحية لأول مرة بدراسة أنواع المتحجرات .

إن مفهوم التطور ، في نموه الكامل سوف يعطي دفعة قوية لكل التصنيفات ، ومنذ ذلك الحين حل محل التصنيفات الطبيعية تصنيف تطوري يرتكز على النسالة أو (Phylogenése) أي علم الأنسال . ولكي يتحقق هذا التحول البطيء ، استعمل المستندات التي قدمتها المجالات العلمية الأخرى مثل علوم الاحاثة وعلم التشكل (مورفولوجيا) والتشريح وعلم الأجنة . وحلت محل الشجرات الوراثية أو النسبية ، الكيفية نوعاً ما شجرات أخذت في الاعتبار المكتسبات الجديدة ، فأشارت الى روابط القربى . وبدت محاولة هيكل Haeckel 1868 ، إحدى أقدم المحاولات ، مبكرة جداً يومئذٍ . في سنة 1877 كتب ت . هـ . هوكسلي Huxley يقول :

« إن الأشياء المصنفة قد رتبت وفقاً لجميع متشابهاتها الشكلية . وسماتها المتخذة كطابع يدل على المجموعات هي السمات التي قد تحددت بالملاحظة على أنها أساس العديد من المشابهات والفوارق . إن الفئات المختلفة المنهجية ترتكز على « تعداد وتقدير للمشابهات الشكلية دونما رجوع واضح الى النسل » .

إن هذه المفاهيم المتنوعة سوف تتوحد في القرن العشرين .

وإحدى الصعوبات في المنهجة تكمن في تحديد كل مجموعة من المجموعات المنهجية وخاصة في صعوبة تحديد النوع . ومن أفضل المحاولات لتحديد النوع ما صدر عن كوفيه : « إن النوع هو مجموعة من كل الأجسام العضوية المتولدة بعضها عن بعض أو عن أقارب مشتركة وعن أجسام تشبهها بمقدار ما تتشابه فيما بينها » .

ولكن المميز الشكلي للنوع غير كاف . وقد فهم بوفون ذلك تماماً . وجهد المنظمون الحديثون في وضع تعريف أكثر دقة للنوع مرتكز على عدة ضوابط .

التخصيص الزوولوجي . ـ في النمو الضخم الذي اتخذته الزوولوجيا أصبح لكل فرع من فروعها مجال قبع فيه بعض المتخصصين ، دونما أن يمنع ذلك قيام روابط بين مختلف هذه الحقول البحثية ومن بين هذه الحقول حقل الفقريات حيث توضّح ، من جهة ، التعدادُ والتصنيفُ المتعلقان بالأنواع ، في حين درست بدقة علوم الأجنة والتشريح المقارن بعد أن قدمت كل طبقة من هذا التشعب للبحث امكانات خاصة .

وشكلت الرخويات مجالاً آخر من مجالات البحث المتخصص هو علم الرخويات (Malacologie) .

وكذلك كان الحال في فرع المفصليات وخاصة الحشرات ، هذا الفرع الذي يغطي أرضاً واسعة . وأصبح علم الحشريات علماً شبه مستقل فقدم مواد ثمينة لعلم الأجنة العام . وبذات الوقت اقتضى بحوثاً متعددة وملحة تتعلق بالتخريب الخطير جداً في أكثر الأحيان الذي تحدثه الحشرات في الزراعة وفي نشاطات بشرية أخرى . واجتذبت الفراشات بجمالها المصنفين الكثر، دون إغفال المنفعة الحاصلة من بعض الأنواع مثل جنس « بومبكس موري » Bombyx Mori وهي دودة القز ، التي حثت أمراضها في القرن التاسع عشر باستور على القيام ببحوث تجريبية حولها . وبدت حشرات أخرى وكأنها

السهم المميت في الجراثيم الوبائية خاصة جرثومة الملاريا وأمراض الخيطيات .

وفي مجال آخر من التفكير كانت دراسة الحشرات الاجتماعية مثل النحل والدبور والنمل والعث مجال بحث خاص ذي فائدة عالية . إن الدراسة العامة لأداب الحشرات ، لما فيه من إمكانات تجريبية واسعة ، قدم للعلم أعمالاً لا تحصى ، وبحوثاً تجاوزت عالم المتخصصين . ويكفي أن نذكر ، بهذا الشأن باسم ج ـ هـ . فابر Fabre (1823 -1915) الذي عاش وحيداً إلا أن عمله الكتابي قد بلغ العديد من القراء .

وهناك مجموعات أخرى من المفصليات أمثال العقربيات (العناكب والعقارب والقراديات) كانت موضوع دراسات متعددة كان لبعضها وقع كبير في مجال الطب والمعالجة .

قدمت القنفذيات أو الشوكيات مادة انتقاء لدراسة العديد من المسائل المتعلقة بعلم الأجنة العام : الاخصاب ، تشقق البيضة ، والتوالد العذري أو الاخصاب بدون تلاقح ، التجريبي .

وكانت دراسة الديدان ـ وخاصة ذات الحلقات والعريضات ـ ودراسة المجوفات البطن (التي تشكل بوليب المياه الحلوة نموذجها العام الذي درس من قبل آ. ترامبلي A. Trembley في القرن الثامن عشر) حقولاً خصبة في مجال الزوولوجيا والبيولوجيا العامة .

III ـ الاحصاء الحيواني

بخلال القرن التاسع عشر اغتنى الجدول الاحصائي الحيواني بشكل ملحوظ . وعند قراءة أي كتاب مفصل في الزوولوجيا ، يلاحظ كثرة عدد الباحثين في القرن التاسع عشر الذين ربطوا أسماءهم بالوصف الأصيل للأجناس الجديدة ، أو بوصف نوع جديد أو عائلة جديدة . ويضاف الى الاكتشافات والمعارف المتعلقة بالأنواع دراسات تشريحية وتكوينية للأجناس التي تم جمعها بخلال القرن الثامن عشر إلا أنها لم تعرف تماماً . وبسبب استحالة إجراء دراسة شاملة ودقيقة لما قدمه علماء الحيوان في القرن التاسع عشر لجدول الحيوانات ، فإننا نذكر بعض الوقائع وبعض الملاحظات المهمة بشكل خاص .

جرد الحيوانات غير الفقرية .ـ إن الديدان العريضة أو بلاتلمنت Plathelminthes كانت موضوع بحوث ما تزال مقبولة اليوم وخاصة البحوث المتخصصة بالمهتزات ، التي قدمها آ. لانغ A. Lang (1884) وفون غراف V. Graff (1899) .

في القرن السابع عشر كانت تُعتبر الدولابيات من وحيدات الخلية ؛ وصنفها كوفيه من ضمن النقاعيات أو المبثوثات . أما اهرنبرغ Ehrenberg (1838) فقد جعل من الدولابيات طبقة من النقاعيات . وصحح دو جاردان Dujardin (1851) العديد من أخطاء اهرنبرغ . ونبه هوكسلي Huxley إلى الأهمية التناسلية في البروتو نيفريدي Protonéphridies (قناة خلية لهبية) وتصور هاتشك Hatschek نظريته حول التروشوفور Trochophore التي تعطي أهمية خاصة للتناسل في الدائريات أو

الدولابيات . وابتداءً من سنة 1886 بدأ عهد جديد مع الدراسات الجميلة التشريحية التي قدمها زيلنكا .

وعُرفت بطنيات الأهداب Gastrotriches وهي ميكروسكوبية، معروفة منذ القرن السابع عشر إلا أنها كانت ملتبسة مع النقاعيات . وقام اهرنبرغ (1838) وشولتز بوصف أجناس عزواها، الأول الى الدولابيات والثاني الى المهتزات ، وارتضى مشنكوف (1864) القرابة مع الدولابيات وابتكر اسم بطنيات الأهداب في حين قام زيلنكا سنة 1885 بأول دراسة تشريحية مفصلة .

ولوحظ أول قنفذي أو شوكي سنة 1841 بين طحالب شواطىء المانش من قبل دوجاردان الذي لم ينشر اكتشافه إلا في سنة 1851 . وعثر كلاباريد Claparède سنة 1863 على نفس الحيوان القنفذي وعلى نوع آخر ، ثم اكتشفت القنفذيات على مختلف الشواطىء الأوروبية . ودرس غراف سنة 1869 ورينهارد Reinhard تشريحها بالتفصيل .

وكانت الخيطيات الطفولية معروفة منذ زمن بعيد وفي سنة 1819 وصف رودولفي Rudolphi أحد عشر نوعاً وحوالي 150 صنفاً منها . واقترح لها جيجنبور Gegenbaur اسم نيماثل ـ مانث (قسم الديدان الخيطية Némanthelminthes) وقُبل هذا الاسم . ودرس تشريح وحلقات الطفيليات من قبل العديد من العلماء المتخصصين بالديدان من لوكارت Leuckart وفان بندن Beneden إلى شنيدر الذي نشر سنة 1866 بحثاً اسمه : « مونوغرافيا در نيماتودن Monographia der Nematoden » . واكتشف ت. ل .بنكروفت في أوستراليا الخيطية الأنثى الراشدة (1876) وسماها غوبولد باسم بنكروفت : « فيلاريا بنكروفتي Filaria bancrofti » . أما الذكر الراشد فقد اكتشفه آ. ج. بورن Bourne (1888) .

وجاء اكتشاف التارديغراد (tardigrades) متأخراً بسبب صغر حجمها ، وفي سنة 1777 سمى سبالانزاني Spalanzani أحد هذه الحيوانات تارديغراد ،وأخذ دواير Doyère هذا الاسم فأطلقه على المجموعة بأكملها سنة 1840 .

وفرع الأرثروبودات Arthropodes شعبة مفصليات الأرجل سمي هكذا من قبل سيبولد Siebold وستانيوس Stannius 1845 .

ونترك جانباً البحوث العديدة حول ذوات القرون من العنكبوتيات ونكتفي بإعطاء لمحة موجزة عن علم الحشرات .

في سنة 1838 نشر بورمستر Burmeister مختصراً في علم الحشرات ضمنه حالة المعارف بها يومئذٍ . وكانت عديمات الأجنحة Aptérygote غير معروفة تماماً، وكانت في بادىء الأمر مجموعة تحت اسم تيزانور Thysanoures . ومن خلال التجميعات الجديدة المتتالية وتزايد المستندات ، حصلت تصنيفات متتالية ، قطعتها إلى مجموعات عدة . وكانت الرعَّاشات قد درست بشكل خاص من قبل E. Selys-Longchamp «ادمون دي سليس ـ لونغ شان » وارتفع عددها من ثمانية عشر نوعاً سنة 1758 إلى 400 نوع سنة 1853. وتقدمت دراسة مطويات الأجنحة تقدماً كبيراً فتم إستعمال سمات

الجانيتاليا : وقام آ. جرستاكر Gerstäker بوصف « النيمورة » سنة 1874 . ووسع فابريسيوس Fabricius ، ولاتريل Latreille ،وبورمستر Burmeister ، وكارل ستال Carl Stal المعرفة بنصفيات الأجنحة Hémiptères . وقام آ. دوهرن بنشر أول كاتالوغ عنها سنة 1859 .

وكانت غمديات الأجنحة coléoptères قد درست كثيراً . ومن كبار المتخصصين بها آ. ديجان ، الذي نشر سنة 1833 كاتالوغاً يتضمن 22399 صنفاً من الكارابيد (فصيلة السلكونيات . وحرر ت. لاكوردير Th. Lacordaire وصفاً لأنواع الكوليبتير في العالم (11 مجلداً ، 1854 -1876) . وأكمله ف. شابويس . ونشر ش. جاكلين دو فال ول. فيرمير أربعة مجلدات حول الأجناس الأوروبية وهناك العديد من الأعمال قام بها ألمان وفرنسيون تستحق الذكر .

نشر ف. سميث الكاتالوغ حول غشائيات الأجنحة Hyménoptère المحفوظة في المتحف البريطاني ، وظهرت أيضاً كتب حول غشائيات الأجنحة في أوروبا وشمال افريقيا الخ .

وكما هو الحال في غمديات الأجنحة ، درست حيوانات ثنائيات الأجنحة Diptère كثيراً . ويعتبر ج. و. ميجن (1764 -1845) عموماً كأبٍ لعلم الديبتيرولوجيا . ويجب أن يضاف الى اسمه اسم لاتريل (الذي ابتكر كلمة بروتوراكس (مقدم الصدر) وميزوتوراكس (وسط الصدر) وغيرها) واسم أودوين واسم ريومور .

وكانت القنفذيات قد درست كثيراً في القرن التاسع عشر . وتخصص بالأصناف المتحجرة والأصناف الحديثة رجال عظام . فخصصت أعمال كلاسيكية لعلم الأجنحة في القنفذيات من قبل سارس Sars (1844) وكورن Koren ودانيالسن Danielssen (1847) ول. اغاسيز L. Agassiz وكوفالفسكي Kovalevski ومتشنيكوف Metchnikov .

حبليات البطن وحبليات الظهر : إن دراسة حبليات البطن قد تقدمت تقدماً محسوساً في القرن التاسع عشر . فدرس آ. كوفالفسكي Kovalevski (1867) ومشنيكوف ، وباتسون Bateson ، وسبنغل Spengel ، البالانوغلوس (لسان بلوطي Balanoglosse) . ووصف بارانـد (1850) الغرابتوليت Graptolithes . واكتشفت (الرابدوبلورا) Rhabdopleura سنة 1866 من قبل و .ج . سارس سنة 1866 في جزر لوفوتن ، وقام م . سارس (1868) بوصفها ثم تلاه ألمان Allman ، و . و . سارس و ر . لنكستر الخ . واصطيدت القرصيات الرأسية Cephalodiscus على ظهر السفينة شالنجر في مضيق ماجلان ودرست من قبل ماك انتوش Mac Intosh سنة (1887) .

وبيّن دي سافينيه de Savigny (1816) ببحوثه التشريحية على الزقيات البسيطة والمعقدة ، وحدتها في البنية وقام لامارك (1816) فصنفها في تونيكاتا التي ظل حالها غامضاً . واستطاع عالم الأجنة الشهير الروسي آ . كوفالفسكي Kovalevski ببحوثه الرائعة (1868 -1871) أن يوضح هذا الحال . وبيّن أن « المغلّفات » رغم بنيتها المدهشة هي من فصيلة الحبليات . وهذا مثل جيّد على تطبيق القانون الاحيائي الوراثي « الاستجماع الوراثي » . وأثارت استكشافاته الرائعة العديد من الأعمال ، وخاصة أعمال أ. فان بينيدن Beneden (1884) ومدرسته ، وأعمال جيارد (1872) ، وأعمال لاكاز - دوتيه - Lacaze-Duthiers وهالر Haller وكوليري Caullery (1895) ، وديللا فال Della Valle (1898) الخ .

وكما هو الحال في حبليات البطن كانت حبليات الرأس موضوع بحوث مهمة جداً . فاكتشف بالاس منها سنة (1774) مدبّبة الطرفين وجعل منها رخوية . وأشار كوستا Costa سنة (1834) إلى روابط القربى بين مدبّبات الطرفين ومستديرات الفم ، وهي من الاسماك الأكثر قدماً ولكنه خلط بين المعاليق بأطراف الفم وبين الغلاصم أو الخياشيم وسمى الحيوان « بالرميح » . وفي سنة 1836 حدد ياريل الحبل الظهري وسمى هذا الحيوان مدبّبة الطرفين . وبين سنة 1841 وسنة 1844 أثبتت أعمال المشرحين غودسير Goodsir ، وراتكي Rathke و ج . مولر Müller التشابه الأساسي بين مدبّبة الطرفين وبين الفقريات الدنيا .

وفي سنة 1867 بين آ. كوفالفسكي أن نمو الزقيات يذكر بنمو حبليات الرأس. وهذا الاكتشاف المدوي قدم توضيحات عن العلاقات الممكنة بين الفقريات واللافقريات ، وقام ويلي Willey بدمج مجمل المعارف الحاصلة في دراسته وأسماها : « مدبّبات الطرفين وسلفية الفقريات Amphioxus and the ancestry of the Vertebrates » .

علم الاحاثة واللافقريات . ـ وعلى موازاة الأعمال المتعلقة بالأشكال الحية قدم القرن التاسع عشر مساهمات مهمة في معرفة اللافقريات المتحجرة (عولجت إحاثة الفقريات فيما بعد من قبل ج .بيفيتو Piveteau في الكتاب 2، الفصل 2. وكذلك نمو علم الاحاثة التنضيدية، عولج سابقاً من قبل ر . فورون R . Furon في القسم 4 ، الفصل 2) .

وفي بداية القرن نشر لامارك تاريخه الطبيعي للحيوانات بدون فقريات (1815 -1822) وأعطى مكانة كبرى للافقريات البحرية المتحجرة وخاصة للرخويات المتحجرة . وشكل عمله أساس علم الرخويات malacologie .

وظهرت بخلال النصف الأول من القرن أوصاف لاجناس ، وبحوث متخصصة في الحيوانات وكاتالوغات في بلدان مختلفة .

في فرنسا نشر ج. ب. ديزاي Deshayes وصفاً للقواقع والأصداف المتحجرة في محيط باريس (أربع مجلدات ،1824 - 1837) ،في حين درس دوربيني d'Orbigny في كتابه الاحاثة الفرنسية ، (14 مجلداً، 1840 - 1854) «عضديات الأرجل والرخويات والشوكيات الجلد» في الجوراسيك وفي الكريتامي. ووصف ج. سوربي J. Sowerby وج. كارل سوربي J. de Carle Swerby الرخويات في بريطانيا (6 مجلدات ، 1812 - 1846) وفي ألمانيا ظهر كتاب حول الموضوع للمؤلف ي . فون . شلوتهيم E. Von Schlotheim ، كما ظهر كتابان تركيبيان لـ. هـ. ج. برون H.G. Bronn (Lathea Geognostica ، 1834 -1838 ، دليل احاثي ، 1848 -1849)وكتاب احصائي للحيوانات المتحجرة في ألمانيا وضعه ج. آ. غولدفوس A. Goldfuss وج. مونستر (G. Münster) . تذكر أيضاً دراسة الرخويات الثالثية في أميركا الشمالية من قبل ت . آ. كونراد T.A. Conrad (1832 -1833) .

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، عرف علم الاحاثة نهضة كبرى عبر عنها ، في سنة 1847 ، تأسيس « الجمعية الاحاثية » Paleontological-Society في لندن، وفي ألمانيا ، أنشئت دورية متخصصة باسم Paleontographica .

وهذه ، هي بعض النتائج الخاصة الحاصلة في إحاثة اللافقريات .

فمنذ 1835 صنف دوجاردان « المنخربات Foraminifères » بين وحيدات الخلية (بروتوزوير الحيوانات الأولى Protozoaires) . وتلت تصنيفات متنوعة تصنيف دوربيني (1832) المرتكز على نمو الغرف وترتيبها .

في سنة 1825 اعترف ر. غرانت R. Grant بانتماء الاسفنج الى المملكة الحيوانية ، ورغم اقتراح العديد من التصنيفات كان و. طومسون W. Thomson أول من بيّن وجود تشابهٍ بنيويٍ بين اسفنجة متحجرة والإسفنج الصواني الحالي وساعد فحص الاسفنج بحالة رقائق ناعمة على تقدم دراسته . وفي سنة 1877 بين فون زيتل Von Zittel ان الاسفنجات الحية والمتحجرة تشكل مجموعة وحيدة .

ومن بين النشرات العديدة المخصصة لمعائيات الجوف نذكر الدراسات المتخصصة المهمة التي أجراها ج. هيم J. Haime وهـ. ميلن ـ ادوار M. Milne -Edwards حول المرجان ، وكذلك دراسة نيكولسن حول الستروماتوبوريد (Stromatoporides) .

أما الكرينويد (شوكيات الجلد) فقد اكتشفها ج. س. ميلر J.S. Miller (1821) ، واكتشف فليمنغ البرعميات (1828) والكيسيات اكتشفها فون بوش Von Buch (1845) . وصنفها لوكارت Leuckart جميعاً (1848) في عرق الشوكيات الجلد . في حين ابتكر س. لوفن S.Lóven مصطلحاً للدلالة على المناطق التي فيها السمك النجمي (المناطق القنابية) والمناطق المتداخلة معها .

أما عضويات الأرجل ـ والاسم ابتكره كوفيه (1802) ـ فقد درست من قبل فون بوش Von Buch (1834) وتيوفيل دفيدسون Th. Davidson وج. باراند J.Barrande وواجن Waagen .

ومن بين النشرات العديدة حول الرخويات نذكر « كتاب الكونشولوجيا Conchologie » (17 مجلداً ، 1879 -1898) الذي وضعه تريون وبيلسبري ، « وأبحاث في الباليو ـ كونشولوجي المقارنة Conchology » (13 مجلداً ، 1895 -1925) الذي وضعه كوسمان ، ثم « الجورا(1885 - 1888)، ثم « دي آمونيتن دي شوابيشن جورا » الذي وضعه ف. آ. كنستد F.A. Quenstedt ، ثم « النظام السمكي النهري في وسط بوهيميا » (7 مجلدات ، 1852 -1899) الذي وضعه ج. باراند، وأخيراً المجلدات الخمسة التي خصصها ف. ج. بيكتت F. J. Pictet وج. كامبيش Campiche لوصف المتحجرات الطباشيرية (1858 -1872) . ووضع هيات Hyatt (1884) تصنيفاً سنداً لاعتبارات انسالية ، في حين ادخل سويس Suess أسماء انسالية على « الأمونيت » ، ذات علاقة بالصفات البنيوية الملحوظة .

ودرس التريلوبيت كل من ج. و. دالمان J. W. Dalman (1827) ، وف. كنستد (1837) وغولدفوس Goldfuss (1843) ، وبورمستر (1843) . وفي سنة 1852 ظهرت دراسة مهمة متخصصة قام بها باراند الذي كان أول من راقب يرقات التريلوبيت . وابتداءً من سنة 1881 وصف س. د. والكوت Walcott أصنافاً جديدة

ووصف كل من أ. ف. جرمار E.F. Germar (المناطق الفحمية في ألمانيا) و ش. برونيارت

C. Brongniart (المناطق الفحمية في كومانتيري)الحشرات المتحجرة الأولى . أما المتحجرات الجميلة في سولنهوفن Solenhofen فقد درسها مونيه Meunier واوبنهيم Oppenheim الخ ووضع س. هـ. سكودر Scuder (1886) دليلاً لكل الحشرات المتحجرة المعروفة .

الزواحف . ـ فيما خص جدول الفقريات سوف نكتفي بذكر المراحل الكبرى فقط في مجال علم الزواحف وعلم الطير .

إن تاريخ الزواحف في القرن التاسع عشر يشتمل على حقبتين متميزتين تماماً . الأولى هي حقبة دوميريل Dumeril وبيبرون Bibron اللذين نشرا « كتاب علم الزواحف العام أو التاريخ الطبيعي الكامل للزواحف» . وقد اشتمل هذا الكتاب على مجموعات متحف باريس (عشرة مجلدات 1834 - 1854) .

ويتوجب علينا أيضاً ذكر الفرنسيين لـ . فايان Vaillant وبوكورت Bocourt ـ وهذا الأخير عُرف بدراساته حول زواحف أميركا الوسطى ـ والألماني و. ش . هـ. بيتر Peters الذي نظم معرضاً مهماً للحيوانات باسم (ريز ناش موسامبيك ،خمسة مجلدات 1842 -1848) ثم النمساوي ف. ستنداكنر Steindachner والروسي آ. ستروش A. Strauch .

ثم انتقل مركز علم الزواحف من القارة الأوروبية الى انكلترا حيث نشر ج . ي . غراي جدول زواحف المتحف البريطاني في « حوليات ومجلة التاريخ الطبيعي» ثم « مقدمات في أعمال الجمعية الزوولوجية في لندن » (1825 -1874) .

وكان مساعده آ. غونتر A. Günther الذي اكتشف أن التواتارا (سفينودون) ، متحجرة حية ، هي الممثل الوحيد الحي لفرع خطميات الرأس (1867) هو الذي أسس سنة (1864) « السجل الحيواني أو الزوولوجي » الذي ما زال يُنشر حتى اليوم . وخصص مساعده البلجيكي . ج . آ . بولنجر للبرمائيات وللزواحف نشرات عديدة تدور حول تصنيفها وحول أنواعها العالمية .

يضاف الى هذه الأسماء الكبيرة أسماء كل من : ج . اندرسون Anderson الذي جَدْوَلَ حيوانات آسيا ومصر ، ثم و. بوتجر Boettger من فرانكفورت وتيودور ايمر Eimer الذي درس تأثير الوسط على الزواحف . أما تشريح هذه الحيوانات فقد درسه العديد من المؤلفين ومنهم ج. رتزيوس Retzius وش. جيجنبور Gegenbaur .

ومهدت بحوث هـ. سيوال Sewall حول مضادات السموم (1887) الطريق أمام الاكتشافات المهمة في القرن العشرين . وفي أميركا بدأ علم الزواحف حوالى سنة (1850) مع بيرد Bairdوي . د. كوبCope ول. ستيجنجر Stejenger .

الطيور . ـ يصف علم الطيور ، خاصة في بداية القرن ، بحكم منهجيته ، الأنواع وفروعها . وفي أميركا ظهرت أسماء خمسة علماء في علم الطيور تعتبر طلائعية : آ. ويلسون ، ش . ل . بونابارت ، و. سوان ، وج .ج . أودوبون وت . نوتال . وبعد موت أودوبون (1854) إنتهت هذه الحقبة . وشاهد النصف الثاني من القرن ولادة العديد من الكتب المتخصصة بالحيوانات المحلية ، خاصة الأوروبية

منها ، كما ظهرت دراسات متخصصة في مختلف مجموعات الطيور . وأهم المؤلفين هم مورتنسن في الدانمارك ، وسيلوس في انكلترا ، وشابمان في الولايات المتحدة الاميركية . وبعد هذه الحقبة الوصفية ، اتجه علم الطيور نحو شُعب متنوعة .

وطبق هرمان شليجل Schlegel التصنيف المثلث الاسم على المتغيرات الجغرافية (1844) ، في حين أن بروش Bruch اقترح اطلاق هذا التصنيف الثلاثي على المنوعات التشكلية المنحرفة عن النمط . وشرع . س. ف. بيرد في سنة (1850) في الاستكشاف الطيوري في أميركا الشمالية ودرس بشكل خاص التنوع الجغرافي بين الطيور ، واهتم معاونه ر. ريدجواي Ridgway بالمشاكل المتعلقة بالنوع وفرع النوع . ودرس ج. آ.ألين Allen صفات الطيور وعلاقتها في شروط الوسط . وكانت استنتاجاته لصالح التصور اللاماركي (عند لامارك) وهناك عالم آخر في علم الطيور هو أ. كوس Coues اهتم بنفس المسائل وتحققت أعمال مهمة حول تشريح الطيور من قبل ر. أون Owen ومن قبل العديد من الزوولوجيين الآخرين ، وتم عرض العديد من التصنيفات أيضاً ومنها : تصنيف الجوائم ، من قبل ج. مولار ، وهذا التصنيف بُني على بنية المصفاة أو الحنجرة عند الطائر ، وتصنيف ت. هـ. كوسلي المرتكز على بنية وعلى موقع عظام الفك (1867) ، وتصنيف آ. هـ. غارود Garrod وبُني على ترتيب الأوداج .

واهتم بهجرات الطيور علماء البيولوجيا . فراقب هـ. شليجل (1828) الطرقات وأماكن الاقامة في الشتاء ، بالنسبة إلى طيور أوروبا . ونشر السويدي اكستروم Ekström التواريخ الأولى لوصول وذهاب الأنواع المهاجرة . واقترح ج. آ. بالمن Palmen نظرية حول طرق الهجرة (1876) . وأخيراً ومن أجل مراقبة الطيور أقام هـ. غاتكي Gätke في جزيرة هيليغولند ، وفي سنة (1891) لخص نظرياته بناءً على خمسين سنة من الفحوصات الدقيقة . وأقرّ آ. ريشنو Reichnow وتلامذته بضرورة العمل المشترك . وقامت لجان لدراسة هجرات الطيور في ألمانيا(أول تقرير وضع سنة 1877) ثم في انكلترا وفي النمسا وفي أميركا . ولم ينهض علم الطيور ، الذي أدخله هـ. ش. مورتنسن Mortensen (1890) نهضة حقة إلّا في القرن العشرين .

وكان سلوك الطيور شاغل الأفكار . ففي النصف الأول من القرن أثرت أفكار ش. ل. بريهم Brehm وأفكار ولده آ. ي. بريهم Brehm تأثيراً كبيراً . وقد نشر هذا الأخير كتابه Das Leben 1861) der Vogel) ثم (Illustriertes Thierleben 1864 -1869) وفيهما أدب تجسيمي وعاطفي . وكانت الانتقادات الأولى قد صدرت عن. ب. التوم (B. Altum) في ,Der Vogel und sein Leben) 1868) . كان هذا الأخير معارضاً لداروين وضد الكاثوليكية ، واعترف بالسلوك الغريزي ، باعتبار أن النشاطات يجب أن تعتبر كأجوبة على محفزات خارجية . ولأول مرة عرض لمفهوم الأرض . ولكن غالبية المفكرين ظلوا تحت تأثير بريهم Brehm فاستقبلوا أفكار التوم Altum بانفعالات غالباً ما كانت عدائية عنيفة . وفي سنة 1896 استرعت نظرية مورغان حول السلوك الغريزي الانتباه ، لأن الأفكار كانت يومئذٍ مستعدة للتقبل .

وازدادت المعرفة بالطيور المتحجرة اثراءً . وكان أول « اركايوبتريكس Archaeopterix »

مكتشف في سولن هوفن، سنة(1861) قد وصف من قبل أون. ودرس آ. ميلن ادواردز الطيور المتحجرة في فرنسا (أربعة مجلدات 1867 -1871) ودرس و. ش. مارش الطيور الطباشيرية [المتكلسة] في أميركا الشمالية . ودرس ر. و. شوفت R.W. Shufelt علم العظام عند الطيور المتحجرة . نذكر أيضاً اكتشاف طائر عملاق من العصر الحديث السابق سُمي « ذياتريما » (أ. د. كوب E.D. Cope ، نيومكسيكو ، 1876) واكتشاف الفوروهاكو العملاق وهو طير من العصر الثلاثي المتوسط في أميركا الجنوبية من قبل ف. اميغينو F. Ameghino .

في حين تألفت المجلات الأولى المتخصصة في علم تصنيف الطيور (جريدة الأورني تولوجيا في ألمانيا «1952»)، «إيبيس» في انكلترا (1959) ، ثم نشرة نوتال أورني تولوجيكال كلوب في أميركا (1876 ؛ أصبحت « أوك » سنة 1883) ، واورنيس (1885) ، وتم التعاون الدولي وعقد أول مؤتمر دولي لعلم الطيور في فيينا سنة (1884) .

IV ـ علم المتعضيات (الوحيدة الخلية) protistologie

إن مجمل الوحيدات الخلية (protozoaires) كان مجالاً مهماً للزوولوجيا وقد تم التعرف عليه واكتشافه كاملاً بخلال القرن التاسع عشر على أساس المفهوم الجديد للخلية وبفضل تقدم الميكروسكوب وتقنيات علم الأنسجة . وكان أول علماء الزوولوجيا الذين سبقوا هذه الحركة العلمية الكبرى هو الألماني ك. ج. اهرنبرغ (1795 -1876) ، الذي كان يجهل حتى ذلك الحين مفهوم الخلية فأعطى لبنية هذه الأجسام أوصافاً مغلوطة في أغلب الأحيان . ويعود الفضل الى ف. دوجاردان بالتعرف على طبيعة وعلى خصائص المادةالأساسية في هذه الكائنات الحية وفي الخلية عموماً . وبعد عدة سنوات تم التعرف على البنية الوحيدة الخلية في كل الأجسام الدنيا . وسرعان ما اكتُشِفَ فيها عالم متنوع وواسع جداً يمثل أحد الأشكال الأساسية في الحياة . وابتكر هيكل (Haeckel)المملكةالمستقلة لما يسمى بالمتعضيات وهي تضم كل الأجسام الوحيدة الخلية . وفي الواقع تتضمن المتعضيات protistes مجموعتين : المتعضيات ذات الميول النباتية وسميت بروتوفيت Protophytes والمتعضيات ذات الميول الحيوانية أو protozoaires وأصبحت دراسة الـ protozoaires أحد الفروع الرئيسية في علم الحيوان أو الزوولوجيا .

وارتدت الخلية ، في البروتوزوير protozoaires تنوعاً أقصى في الشكل وفي البنية . ولم تكن شروط الحياة أقل تنوعاً ، وغطت المنابت الأكثر تنوعاً : الأرض والبحر والمياه العذبة ، دون ذكر الأشكال الطفيلية .

وتتضمن البروتوزوير عدة فئات . في الأساس هناك فئة جذريات الأرجل ومن بين هذه الأخيرة الأميب Amibes حيث تظهر الخلية بأبسط أشكالها وبداخلها النواة في حين يؤمن السيتوبلازم Cytoplasmes بتنوع شكله حركة الخلية ويشتمل على الجزيئات التي تتغذى بها الخلية . وتعيش الآميب حرة في الماء . وبعضها يتفشى في أمعاء الإنسان ويحدث فيه الديزنتريا الرهيبة والمعدية . وهناك مجموعة أخرى من جذريات الأرجل هي مجموعة المنخربات Foraminifères التي يفرز أكثرها قشرة كلسية، وهكذا

استطاعت أن تترك آثاراً متميزة ذات أهمية ضخمة . وهناك أشكال أخرى تشكل مجموعة الحيوانات الشمسية Heliozoaires التي تصنع هيكلاً مكوناً من إبر صوانية وترتدي أشكالاً متنوعة . وهناك مجموعة كبرى أخرى تشكل فوق صفّ السوطيات(*) المتحركة بو سطة خيط أو عدة خيوط (فلاجيل) وهي تؤمن وتنظم التنقل . والكثير من هذه الخيطيات هي طفيليات . وبعضها سام ممرض . ويرتبط بهذه المجموعة الليليات Noctiluques وهي من أهم العوامل في فسفرة البحر . وهناك فئة أخرى من البروتوزوير هي فئة سبوروزوزوير Sporozoaires (المتجمّعات، الكرويات، البوغيات المخاطية، الخ . . . .). وكل الطفيليات الداخلية في الأنسجة وفي الجهاز الهضمي وكل الوسط الداخلي هي أمكنة للاستضافة الأكثر تنوعاً. وهناك أخيراً الطبقة الكبرى لما يسمى بالنقاعيات Infusoires ذات الأهداب والمزودة بثوب من الأهداب المتحركة والتي تعيش إما حرة في المياه الحلوة أو المالحة أو تعيش طفيلية .

التناسل والدورات .ـ لقد كانت البروتوزوير سواء في بنيتها أم في شروط حياتها وتكاثرها موضوع بحوث متعددة . وهكذا تم التثبت ـ خارجاً عن أو بمعزل عن التنوع والفروقات الضخمة في البنية ـ من الدورات التطورية المحددة تماماً . وفي هذه الدورات تحصل تفاعلات إما هي مجرد تكاثر انقسامي في الخلية أو عن طريق التناسل اللاشقي ، أو تكاثر جنسي بواسطة اللامشجة (خلية جرثومية ناضجة) ثم الاخصاب ، ضمن ظروف وبأشكال متنوعة جداً تمت دراستها ، في معظمها في أواخر القرن التاسع عشر .

ضمن هذه الظروف الكثيرة التنوع يندمج فردان من وحيدات الخلية متشابهان فيما بينهما أو مختلفان في الشكل والبنية ـ إلى حد ازدواجيةٍ تعادل ازدواجية الخلايا الجنسية في الحيوانات التوالي Métazoaires ـ مما يحقق ما يعادل البويضة وبالتالي أساس سلالة جديدة تنتشر بالانقسام البسيط المتتابع طيلة حقب يختلف طولها وقصرها .

وكان الرواد في دراسة المتجمّعات والكرويات الألماني ف. شودين F. Schaudinn والبولوني سيدليكي Siedlecki والفرنسي ل. ليجي Léger . وفي الدورة التطورية هذه الأشكال يدخل الاختلاف في المشيجة ، وفي التناسل . وفي النقاعيات تبدو العملية الجنسية بشكل تزاوج أي اقتراب وملامسة مؤقتة بين طرفين مع تبادل النوى فيما بينها ثم اندماج هذه النوى فيتحقق معادل الاخصاب .

ودراسة هذه العمليات كانت في أواخر القرن التاسع عشر موضوع دراسات متعددة ، تحتل دراسات اميل موباس Maupas المرتبة الأولى فيه .

وهناك دراسة مهمة حول المؤالفة أو التركيب تحت عنوان protozoa قام بها و. بوتشلي O. Bütschli مؤلف كتب جليلة في البيولوجيا الخلوية . وقد نشرت هذه الدراسة في الموسوعة الحيوانية بعنوان : Bronn's Klassen und ordnungen des tierreichs .

إن علم المتعضيات (Protistologie) أصبح حقل اهتمام رئيسي في الزوولوجيا وأهميته قد

(*) عضيات حركية في بعض الخلايا المتحركة تكون طويلة نسبياً وتوازن القاعدة (المترجم) .

ازدادت، كما سنرى، من جراء أثره على علم الأمراض أو الطب الباطني. لأن بعض وحيدات الخلية الطفيلية على الثدييات وعلى الانسان هي من أسباب الكوارث الكبرى مثل الملاريا ومرض النوم والعديد من الأمراض الوبائية .

٧ ـ الطفيلية وعلم الطفيليات

هناك سلسلة من الأحداث كان لها في الزوولوجيا أثر موحٍ ، وقد ثبتت بشكل خاص في أواخر القرن التاسع عشر، إنها الأحداث المتعلقة بالطفيليات، أي بالحياة الواجبة لبعض الأنواع على ـ أو في ـ أنواع أخرى محددة بدقة بالنسبة الى كل حالة ، وعلى حساب هذه الأنواع الأخيرة . إن ظروف الحياة هذه خلقت في الطفيلي انحرافات وتحولات ضخمة أحياناً تجعل من الصعب تحديد ماهية الراشد منها . إن مجمل هذه الأحداث تشكل شهادة خاصة ذات معنى فيما يتعلق بحقيقة التطور . فالطفيلية ، بالنظر الى تعدد أشكالها وسيرتها الغريبة في أغلب الأحيان ، وتطور مراحلها ، تشكل أحد الفصول الأكثر فرادة في الزوولوجيا . ودراستها تبقى في النصف الثاني من القرن التاسع عشر إحدى المساهمات الأكثر غنى ودلالة في هذه الحقبة .

المظاهر المختلفة للطفيلية .ـ هناك مجموعتان كاملتان في المملكة الحيوانية تتألفان فقط من الطفيليات مثل المثقّبات Trématodes والشريطيات cestodes التي ترتبط، بشكل حازم بالأشكال الحرة (البلانير Planaires) فتؤلف معها فرع البلاتيلمانت Plathelminthes . وفي طبقات أخرى ، مثل القشريات ، هناك مجموعات ثانوية ، رتب أو أسر أو أصناف خاصة تشكل طفيليات . وفيما عدا ذلك ، كما هو الحال في بعض الحشرات ، ترتبط الطفيلية بحقبة أساسية في الحياة أما حالة الرشد (Imago) فتبقى حرة . إن الطفيلية ترتدي إذاً مظاهر متعددة .

ومن هذه المظاهر الأكثر بروزاً ان الفرد ، في مجموعات متنوعة من الطفيليات ، يمر أثناء نموه ، بضيفين متتاليين محببين من أجل بلوغ حالة الرشد ، مع تكاثره في بعض الأحيان ، عن طريق اللاتزاوج أو الخنثوية ، ووفقاً لطرق محددة ، في المضيف المؤقت . إن مثل هذه الدورة تبدو لأول وهلة وكأنها خاضعة لعوائق رئيسية ، يتم التغلب عليها .

وهناك مثل على التغيرات الضخمة والمتنوعة جداً التي تحدثها الطفيلية في بنية وفي تطور الأنواع ، وهذا المثل هو حدوث ازدواجية جنسية بارزة جداً لا تتوجد عند الأشكال الحرة في ذات المجموعة . إذ الذكر يكون قزماً ويعيش فوق الأنثى أو في محيطها المجاور فيحتفظ بالهيئة الأساسية للمجموعة التي ينتمي اليها الذكر في حين تتغير الأنثى تغيراً عميقاً .

وتشكل الطفيلية بأشكالها المتنوعة والمتعددة عالماً خاصاً تكشف أمام أعين الزوولوجيين في القرن التاسع عشر . والكثير من الطفيليات تتحور وتتشوه بحيث لا يبقى منها إلّا ظلال يصعب حشرها داخل التصنيف العام ، لو لم نكن نعرف المراحل الأساسية في تطورها . وبفضل هذه المراحل ، وخاصة أشكالها اليرقية التي احتفظت بالسمة الأساسية للمجموع الذي هو الأصل ، يبدو منشأ هذه

الأنماط المتشوّهة بشكل عميق وبارزاً. إن الطفيلية في مجملها قد حققت تطوراً ثانوياً حددت نقاط نشأته بشكل كامل . أما غائيته فتنتج بشكل مؤكد عن ظروف الحياة التي عاشها الطفيلي فوق ظهر مضيفه . هذه الواقعة تشكل حجة رئيسية لصالح الأثر الفعال الذي تحققه ظروف الوسط في عملية التطور .

إن أبعاد تطور بعض الطفيليات بدت أحياناً غير متوقعة ، فبدا اكتشافها وتحليلها الصحيح غير معقولين مما أثار جدلاً حاداً بين علماء الطبيعة الكبار .

وهناك مثل نموذجي هو تطور الساكولين Sacculine (وهي قشرية تنتمي إلى مجموعة ذؤابيات الأرجل كما يدل على ذلك شكلها اليرقي) داخل مضيفها السرطان (crabe) تتسرب اليرقة ثم يخرج الطفيلي الراشد الى الخارج بمظهر وبنية مضللين . هذه الدورة المكتشفة والموصوفة بدقة من قبل ايف دولاج قد أثارت بما فيها من غرابة ومن جدة الكثير من المنازعات من جانب أحد الأخصائيين الأكثر جدارة ، هو آ. جيار Giard . أما الوصف الذي قدمه ايف دولاج Delage فقد تأكد بدراسة نمو طفيليات أخرى مثل البلتوغاستر Peltogaster التي تعيش على صخريات الذيل Pagures .

الاكتشافات الرئيسية .ـ خلال القرن السابع عشر والثامن عشر حقق علم الطفيليات تقدماً بطيئاً . وفي القرن التاسع عشر سوف يحقّق ك. رودولفي Rudolphi (1771 -1832) ، وهو سويدي ، اشتغل بشكل خاص في ألمانيا ، بالنسبة الى علم الطفيليات ما حققه ليني Linné بالنسبة الى الزوولوجيا. فقد نظم مجموعات من الطفيليات ثم حدد كل العينات وبخلال النصف الأول من القرن التاسع عشر تم اكتشاف العديد من الأجناس وتم وصفها من قبل دوجاردان Dujardin ودياسن Diesing ، وكوبولد Cobbold وليدي Leidy ، الخ . أما « الترشينيللا » Trichinella فقد اكتشفت في اللحم البشري من قبل بيكوك Peacock (1828) وفي لحم الخنزير من قبل ليدي (1846). واكتشف دوبيني Dubini (1842) الخيطيات البشرية، واكتشف هاك Hake الأكياس البيضية Oocystes في الكرويات عند الأرنب، واكتشف غلوج Gluge وغروبي Gruby (1842) المثقبيات أو السوتيات Trypanosomes في دم الضفادع. واكتشف غروس Gros (1849) أوّل آميب بشري في الاندامويا جنجيفالس Endamoeba gingivalis .

وفي نصف القرن التاسع عشر طبقت الطريقة التجريبية في علم الطفيليات . ونجح هربست Herbst (1850) في إمراض الحيوانات بدودة التريشين . وحصل كوشنمستر Küchenmeister على الشريطيات الراشدة وذلك بإطعام حوصليات ذيل Cysticerques الأرنب الى الكلاب. وازدهر علم الطفيليات التجريبي في ألمانيا (برون Braun وهامان Hamann الخ . .) . وفي فرنسا (بلانشار Blanchard ورالييت Ralliet) وفي انكلترا (كوبولد ونوتال Cobbold, Nuttall) وفي بلجيكا (ب . ج . فانبينيدن P.J. Van Beneden) وفي السويد وسويسرا ، وفي ايطاليا (غالي فاليريو Galli - Valerio وغراسي Grassi) وفي أميركا (كوب Cobb وكورتيس Curtice الخ . .) أما رأس المدرسة الحديثة فهو (هـ . ب . ورد H.B. Ward) . إن علم الطفيليات التجريبي إذ يفسر الدورات المعقدة لنمو الطفيليات قد أثبت دور الحشرات كمضيفة وسيطة أو كناقلات للطفيليات . ولاحظ لوكارت Leuckart (1867) تطور الخيطيات Protospirura Muris وهي طفيلية تعيش على الفأر

ضمن حشرة أخرى . سنة 1869 بيّـن تلميذه ملنيكوف Melnikov ان « ديبيليديوم » الكلب تنمو في براغيثه ولاحظ فيدشنكو أن نمو دودة غينيا (Dracunculus medinensis) تعيش ضمن قشرية هي سيكلوبس .

واكتشف باتريك مانسون P. Manson ، أبو الطب الاستوائي الحديث ، في الصين نمو فيلاريا بنكروفتي داخل البعوض الذي يدخل الطفيلية بلسعه . وافترض فيها بعد أن حدثاً من نفس النوع يجب أن يحدث فيا خص الملاريا وهي وباء يتسبب به هيماتوزوير أو بروتوزوير يعيش في الدم، من نوع الرغـويـة التي اكتشفت سنة (1880) من قبل لافيران Laveran . وبعد ذلك بعشرين سنة ثبتت فرضية مانسون فقد بين الطبيب العسكري الانكليزي ر. روس Ross (1898) ، أثناء إقامته في الهند ، أن الرغوية الموجودة في دم الطيور تنتقل بفضل البعوض. وفي سنة (1898) أثبت الايطالي ج. ب. غراسي Grassi بشكل لا يقبل المراجعة أن عامل الملاريا ينتقل بواسطة البعوض من نوع آنوفيل .

إن دورة « الرغـويـة » معقدة . فهي تنبت وتنتشر ، بشكل لاجنسي، في دم الانسان وغيره من الثدييات أو الطيور ، فيشكل في النهاية عناصر جنسية لا تنهي نموها وتطورها الا داخل البعوض . وهنا يتم تفارق اليرقات الذكور واليرقات الاناث ، المختلفة بعضها عن بعض . ومن البيضة المتشكلة هكذا في الغشاء المعوي من البعوضة ، تتفرع أفراد كثيرة العدد متحركة ولاجنسية، تنتقل الى الغدد اللعابية في الحشرة ، وبعدها تزرع باللسع في الانسان أو في الطير . وتوجد أنواع مختلفة من هذه الطفيليات ، يتطور كل منها داخل الحيوانات المضيفة المحددة ، بعوض من جهة ، وثدييات أو طيور من جهة أخرى .

إن إعادة التكوين الدقيقة لمختلف الأجناس من الرغـويات قد أتاحت وضع تدابير وقائية . وأهم هذه التدابير هو تطهير المكان الخارجي ، بتجفيف المستنقعات حيث ينمو البعوض ، أو زرع أسماك (أمثال سمك الغامبوزيا) التي تلتهم يرقات البعوض. إن حل هذه المسألة الزوولوجية التي ساهم به عدة باحثين ، ومنهم الايطالي ج. ب. غراسي (1854 -1925) كان له انعكاسات طبية ضخمة .

في سنة 1893 لاحظ الاميركيان ت. سميث ، وكيلبورن ، أثناء تجاربهما حول نماذج انتقال حمى تكساس عن طريق بعوض التيكس ، ولأول مرة ان البروتوزوير الطفيلي (بابيسيا) يقبل أن يستضيف مفصلية أرجل Arthropode كوسيط وناقل للعدوى .

ومرض النوم منتشر جداً بين سكان افريقيا الاستوائية . وفي سنة 1890 اكتشف نبفو Nepveu في دم المرضى وجود طفيلي من طبقة الفلاجيلي هو التريبانوسوم . وفي سنة 1895 بين بروس إن هذا البروتوزوير يدخل الى جسم الانسان عن طريق عقصة ذبابة هي تسي ـ تسي (غلوسينا بالبالس) . ونعرف اليوم عدة أصناف من التريبانوسوم التي تعيش متطفلة في مختلف الثدييات . وقد تم اكتشاف دوراتها ثم إعادة تكوين هذه الدورات بشكل دقيق في مطلع القرن العشرين .

ومنذ القرن السابع عشر عرفت فعالية الكينين على الملاريا . وفي القرن التاسع عشر تم استعمال

المضادات الدودية . والحدث الأهم هو اكتشاف الباحثين الايطاليين لمفعول التيمول على الخيطيات السترونجيليدي Nimatodes Strongylidés (1880) . وتم ازدهار الاستطباب عن طريق الكيمياء ، ضد الاصابات الطفيلية في القرن العشرين .

وتم درس طفيليات مختلف أنواع الحيوانات أيضاً :

إن اعمال هس Hesse بين 1880 و1900 ، واعمال لاكاز دوتييه Lacaze-Duthiers وي . ديلاج Delage ، انصبت على الصدفيات الطفيلية . ووصف سبنغل Spengel (1881) ، ثم ميرون Miron وسان جوزيف الحلقيات كثيرة الشعر ، وفوق فصيلة الأنيسيات التي تنمو الى أن تبلغ الحجم الراشد كطفيلية داخلية ، ودرس زيلر Zeller (1872 -1876) نمو التريماتود بوليستومم انتيجيرينوم ، وهي طفيلية مثانة البرمائيات والزواحف واكتشف الأصل الطفيلي للآلىء الرخويات المرغريتية سنة 1852 على يد فيلبي Filippi . أما الرخويات ذات الفروع الصفائحية ومعديات الأرجل الطفيلية فقد حللت من قبل Baur سنة 1861 . وأجرى بيجيرينيك Beijerinck سنة 1882 مراقبات وتجارب على الجرب الذي تحدثه غشائيات الأجنحة . . الخ .

إن مبدأ الصراع البيولوجي قد استشعر من قبل إ. داروين سنة 1800 . وامتخرج بلانشون Planchon وريلي Rileyسنة 1886 كوشنيل غريب، « ايسيريا بورشاسي » ، التي اجتاحت بساتين البرتقال في كاليفورنيا وذلك بإدخال وتدجين كوشنيل استرالي « نوفيوس كاردينالس Novius Cardinalis » تتغذى بالايسيريا ؛ وهذا المبدأ قد طبق في حالات عديدة أخرى .

المؤاكلة والتعاون .ـ إن المؤاكلة أو الاتحاد المنتظم بين الأجناس دون أن يعيش أحدهما على حساب الأخرين ، كان موضوع العديد من الأعمال التي قام بها علماء من سمبر Semper (1863 - 1864) الى ايمري Emery (1880) وجيارد Giard وكوتيير Coutière . وهناك أمثلة متنوعة حول المؤاكلة ، أصبحت اليوم كلاسيكية ، قد درست ورصدت ووصفت . من ذلك أن الأنواع أليفة النمل قد درست من قبل هوبر Huber (1810) ومن قبل وسمان Wasmann (1895) ومن قبل جانت Janet وايشيريش Escherich . وكلمة تعاون أوجدها انطون دي باري Bary سنة 1879 ليدل على التقارب الحميم والثابت بين جسمين مع وجود علاقات متبادلة تؤمن لهما مكاسب متبادلة .

والاتحاد بين النمل والفطر قد درس من قبل بلت Belt وآ. مولر Möller (1893) ومن قبل هـ. فون تيرنغ Thering (1898) . والزوكلوريل والزوكزانتيل هي طحالب وحيدة الخلية توجد بشكل دائم في السيتوبلاسم لدى مختلف البروتوزوير وفي أنسجة بعض اللافقريات . وقد أشير الى وجودها منذ 1850 وتأكد تحديدها بصورة صحيحة باقتراح من قبل سينكوسكي Cienkowski ، على يد بيجيرنك Beijerinck . ان الورم الفطري في الحشرات، المعروف منذ 1858، لدى القمل (الأرقات) (هوكسلي) والمدروسة من قبل بالبياني Balbiani وميشنيكوف Metchnikov ، لم تؤول بصورة نهائية إلا في القرن العشرين أما الأورام الفطرية في الكرويات، والتي أشار اليها ليديغ Leydig(1850)فقد درست من قبل ميشنيكوف . وفي سنة 1877 اكتشف بوتنامPutnam ومونيز Moniez ان الأورام الفطرية تشتمل على نباتات . واكتشف وتعرف فيها لندنر Lindner على خمائر . أما التعاون بين النمل والباكتيريا فقد أشار

اليه بلوكمان سنة 1884 . ومنذ 1858 ذكر « كلاباريد » التعاون بين رخوية هي : سيكلوستوما ايليغانس Cyclostoma elegans مع الباكتيريا .

VI ـ علم البيئة (الايكولوجيا)

ابتكر هيكل Haeckel في سنة 1866 كلمة ايكولوجيا œcologie ـ ومنها اشتق شكل كلمة ايكولوجيا écologie الحالي ـ للدلالة على علاقات الحيوانات بمحيطها ، وخاصة علاقات الصداقة أو العداوة بين الحيوان أو النبات مع هذه المحيطات[1] وهناك كتابان مهمان رسما تاريخ علم البيئة : المورفولوجيا التجريبية (مجلدان ، 1897 -1899) ووضعه دافنبورت Davenport ، وحياة الحيوان (1879 -1881) لسمبر Semper .

أثر العوامل الخارجية .ـ عبر القرن التاسع عشر ، وفي أواخره بشكل خاص اهتمت بحوث عديدة متأثرة بأفكار لامارك ، بأثر عوامل البيئة على فيزيولوجية الحيوانات ونموها . وعلى هذا درست مفاعيل انعدام الأوكسجين (كوهن Kühne ، 1864) أو تزايد العامل من الغاز كربونيك (ديمور Demoor ، 1894) على حركة السيتوبلاسم في الآميب . ولاحظ فيرر Fayrer (1872) أن الأفاعي لا تموت بسمها الذاتي ، في حين ذكر اهرليك Ehrlich (1891) أن الحيوانات تظهر نوعاً من الاعتياد على السموم .

وبين بيزولد Bezold ان مقدار الماء في الأنسجة يختلف بحسب الأنواع (1857) . ولاحظ كوك Cooke (1895) المقاومة التي تبديها رخويات الصحاري ضد الجفاف . وتم تحليل أثر المحلول الملحي ذي التركيز المختلف على الآميب (كوهن Kühne 1864) ثم على الفلاجلات مثل الأرتيميا والهليوزوير واللاسرجيات . ومنذ 1816 لاحظ بودانت Beudant أن الرخويات الشواطئية تقاوم بصورة أفضل الحلوة، مما تفعله الأشكال البحرية. ولاحظ ادواردز سنة 1824 أن شرغوف الضفادع لا ينمو في الظلام . ودرس بيكلار Beclard ، سنة 1858 ، العلاقة بين طول موجة الضوء والنمو . وفي سنة 1888 ذكر سيبوم Seebohm تأثير الضوء على هجرات الطيور . واستخدم تأثير الضوء على عملية البيض لدى الطيور الأليفة في اسبانيا سنة 1802 ثم في أميركا الشمالية سنة 1895 .

وبحث سمبر Semper (1881) في العلاقة بين درجة الحرارة ونمو الأجسام . وتم رسم أولى الخطوط البيانية الحرارية من قبل ليلي Lillie ونولتون Knowlton سنة 1897 . ودرس ادواردز سنة 1824 ، وبرت Bert سنة 1876 درجات الحرارة الدنيا والقصوى الملائمة للحياة. وبحث دويير Doyère سنة 1842 اثر الجفاف على المقاومة في درجات الحرارة العليا ، لدى المكورات (روتيفير) وعلى

(1) بالنسبة الى هيكل ، تشكل الايكولوجيا علم السلوك الحيواني ، وهو علم سماه ي.جيوفروا سان هيلر ، منذ 1854 « اتولوجيا » Ethologie . وبعد هيكل تغيرت كلمة ايكولوجيا بمعناها بصورة تدريجية ، لتقرب من المعنى الحالي ولهذا من الأفضل اطلاق كلمة اتولوجيا على العلم الذي سماه هيكل اكولوجيا . ان البحوث النادرة حول الاتولوجيا الحيوانية وكذلك المظاهر الأولى التي تهتم بحماية الطبيعة سوف تدرس بذات الوقت مع الأعمال المشابهة في القرن العشرين .

التارديغراد . وابتكر موبيوس Möbius كلمة أوري (eury) وكلمة ستينوترم Sténotherme للدلالة على الأنواع التي تتحمل تغيرات واسعة في شروط البيئة ، وكذلك على الأنواع المرتبطة بظروف محددة وواضحة .

التلون الدفاعي أو الحامي .- إن وجود ودور ظاهرات التلون الذاتي التجانسي قد سبق ودرسا . فمنذ 1830 أشار ج . ستارك الى التغيرات في لون الأسماك ، وأعلن شو Shaw ان هذه التغيرات تحمي السمكة ضد آكلاتها . ووضع ليستر Lister سنة 1858 علاقة بين الرؤية وحالة التجانس اللوني عند الضفدع . وأكد بوشت Pouchet على هذه العلاقة وأشار إلى مشاركة الجهاز العصبي التحابي فيها .

السلوك :- لاحظ كبار الرحالة أمثال والاس Wallace وهودسون Hudson وبيلت Belt وباتس Bates ، أثناء رحلاتهم ، سلوك الحيوانات المعروفة قليلاً وقدموا وصفاً لها . ونشر اسيناس Espinas (1877) مجلداً حول المجتمعات الحيوانية . وقدم ويتمان Whitman توضيحاً (سلوك الحيوان ، 1898) في حين حرر دافنبورت Davenport كتاباً متوسطاً حول عمليات الانحراف أو الانتحاء (1897) .

دراسة السكان .- إن المفاهيم الشهيرة عند مالتوس Malthus قد أعلنت سنة (1798) وسنة (1803) : فالأفراد يتكاثرون وفقاً لمتوالية هندسية في حين أن كميات الطعام لا تتزايد إلاّ وفقاً لمتوالية حسابية وينتج عن ذلك اختلال بالتوازن يثير صراعاً على الحياة. وكان لهذه النظريات تأثير عميق على داروين. وعرض كيتيلت Quetelet (1835) وفرهولست Verhulst قانون تزايد السكان منتقداً من قبل دوبلداي Doubleday سنة (1841) . وقدم و. فار Farr (1843) صيغة لمعدل الوفيات تبعاً لكثافة السكان هي : ($R = c\,D^m$) باعتبار R = معدل الوفيات وD = كثافة السكان و c وm ثابتتين .

وفي سنة (1852) نشر آ. سبنسر Spencer « نظرية حول السكان مستقاة من القانون العام للخصب الحيواني » وقد أدخل هذه النظرية ضمن كتابه « مبادىء البيولوجيا » (1867) . ونذكر أيضاً البحوث التي قام بها هنسن Hensen من أجل تحديد كمية علق البحر ضمن مساحة معينة ثم معرفة تغيراتها .

المشاركات والجماعات Associations et communautés .- درس فوربس Forbes توزيع الحيوانات في المياه الإنكليزية وفي مياه بحر إيجه (1843 -1844) ؛واكتشف أن مختلف المناطق العميقة تأوي أنواعاً ذات خصائص مميزة . إنه أول عمل بيئوي معبر عن المظهر الديناميكي للعلاقات بين الأجسام والمحيط . وقسم ج . د. دانا (1852 -1853) وباكار Packard وفيريل Verril المنطقة الشواطئية من المحيط الى مناطق حيوانية . وميز فيريل وسميث (1874) بين عدة مناطق مأهولة بأنواع خاصة ، وكان هذا السكن ذا علاقة مع ظروف المكان . وضمن تصور حديث ، حلل ك. موبيوس Mobius توزيع المحار . وابتكر كلمة « بيوكونوز » للدلالة على الحيوانات أو النباتات المتوازنة التي تعيش في منطقة أو في وسط معين . ووافق س. آ . فوربس على مقترحات موبيوس وبين أنه توجد طائفة مصالح بين القناصين والفرائس .

إن مجموعات الجزر قد استلفتت انتباه داروين . إن أمراضهم الاستيطانية الخاصة أوحت له بالدور المهم الذي تلعبه العزلة في ولادة الأنواع . وفرضية أثر العزلة الجغرافية ، والتي وضعها باتس Bates

(العالم الطبيعي في منطقة الأمازون ، 1863) سوف يتولى توسيعها موريزواغنر Moriz Wagner (في كتابه 1889, Die Entstehung der Arten durch räumliche sonderung) . كتب واغنر: « بدون عزلة لا يوجد نوع » وفي القرن العشرين أصبحت البحوث حول التعين النوعي أو التمويه مهمة ومتنوعة .

ونذكر أخيراً بعض وقائع تصنيفية اصطلاحية . سنة 1899 استخدم لانكستر Lankester كلمة « بيونومي Bionomie » ليدل على مجمل من الوقائع تتعلق بالمدى الجغرافي الذي تتردد عليه الحيوانات وعلى تناسلها، ودراسة التكيف العضوي . وأخيراً قسم شروتر Schröter وكيرشنر Kirchner(1896 - 1902) علم البيئة الى قسمين كبيرين: علم البيئة الذاتية الذي يدرس العلاقات البيئية للأفراد ، أي العلاقات بين الفرد والوسط ، ثم السينيكولوجيا أو علم العلاقات البيئية بين مجموعات الأفراد . وكلمة أوتو ـ ايكولوجيا ، وكلمة سيني ـ كولوجيا ، ما تزالان تستعملان .

في بداية القرن العشرين كانت الايكولوجيا علماً فتياً . ولكنه تثبت تماماً وبرز فيه متخصصون عظام أمثال واسمان Wasmann ، وداهل Dahl ، وويلر Wheeler . وبعد ذلك أصبح تطوره سريعاً .

VII ـ دراسة الحيوانات البحرية والمستنقعية

دراسة الحيوانات البحرية هي إحدى مميزات الزوولوجيا في القرن التاسع عشر .

ومنذ سنة 1819 أشار سيرجون روس Ross ، بخلال رحلة بحرية في خليج بافين (1817 -1818) الى وجود حيوانات في أعماق البحار العميقة (ديدان في عمق 1800 متر ونجوم بحر في عمق 720 متراً تقريباً) ومرت هذه الملاحظات غير منظورة نوعاً ما ، إذ في سنة 1847 ، جرى الكلام عن الاكتشاف الكبير الذي حققه ج . ك . روس الذي عثر ، أثناء رحلة في المحيط المتجمد الجنوبي (سنة1839 - 1840) على حيوانات بين أعماق تتراوح بين 720 و1800 متر .

وساعدت بعض البعثات البحرية البعيدة ، في الباسيفيكي بشكل رئيسي ، وفيها ساهم علماء طبيعة استكشفوا الشواطىء وجمعوا حيوانات ، على هذه البحوث بشكل واسع . وحققت فرنسا سلسلة من هذه البعثات ، بخلال العقود الأولى من القرن منها : « الجغرافيا » ثم « العالم الطبيعي » بفضل العالمين بيرون Péron وليسيور Lesueur ، ثم « أورانيا » و« الفيزيائية » (1817 -1820) بفضل كوا Quoy وغيمار Gaimard . ثم « الصَدَفة » (1822 -1825) بفضل ليسون Lesson وغارنوت Garnot « والاسطرولاب » (1826 -1829) بفضل كوا وغيمار . ثم « لابونيت » (1836 -1837) بفضل ايدوكس Eydoux وسولييت Souleyet . ثم « فينوس والاسطرولاب والزيلي » (1837 -1840) بفضل همبرون Hombron وجاكينوت Jacquinot. ومن بين البعثات غير الفرنسية نذكر بشكل خاص الرحلة المحيطية الكونية التي قامت بها سفينة « بيغل » (1836 - 1839) التي لعبت دوراً حاسماً في حياة داروين العلمية ، وبعثات ج . د . دانا على متن « البوربواز » (1836 - 1839)، وبعثة ج . د . هوكر Hooker على « اربوس والترور » (1839 -1843) وبعثة ت ـ هـ . هوكسلي على « الراتلسناك» (1846 -

1850) ، والرحلات الكبرى التي نظمها الروس بقيادة كوتزيبو Kotzebue .

وفي منتصف القرن اهتمت مجموعة من علماء الزوولوجيا بشكل خاص بالحيوانات البحرية . وأعطى هـ. ميلن ـ ادواردز Milne - Edwards (1800 -1885) مع ف. اودوين Audouin (1797 -1841) دفعاً قوياً لدراسة الحيوانات البحرية على شواطىء الأطلسي وشواطىء المتوسط . وكان الأول قد نشر « دروس في التشريح وفي الفيزيولوجيا المقارنة » (أربعة عشر مجلداً ، 1847 -1881) . ويجب أيضاً ذكر آ. دي كاترفاج Quatrefage (1810 -1892) وذكر هـ. دي لاكاز ـ دوتييه Lacaze-Duthiers (1821-1901) في فرنسا . كما يجب ذكر كافولين Cavoline وس. دل شياج في إيطاليا delle Chiaje ؛ و. ي فوربس Forbes ؛ وسير ويفيل طومسون Thomson وسيرجون موري Murray وت. هوكسلي Huxley في انكلترا وم. سارس Sars في النروج ؛ وج. ستينستروب Steenstrup في الدانمارك . وس. لوفن S. Lóven في السويد وب. ج. فان بينيدن Beneden ، في بلجيكا، وجون مولر Muller وهـ. راتكي Rathke في ألمانيا .

محطات زوولوجية ومختبرات بحرية .ـ إن هذه النهضة في دراسة الحيوانات البحرية قد تشجعت بفعل إنشاء محطات زوولوجية ، على شواطىء مختلف البلدان ، محطات أتاحت دراسة معمقة للحيوانات البحرية : تشريح مقارن ثم تكوّن الأجنة (Embroygenie) ومشاكل متنوعة ذات طبيعة عامة . كما ساعدت هذه المحطات على تكوين العديد من الباحثين الزوولوجيين الشبان .

أُنشئت أول محطة من قبل ب. ج. فان بينيدن في مدينة أوستند سنة 1843 ثم تلتها محطات عديدة أخرى في كل من روسكوف (1871) وبانيولس (1881) من قبل لاكاز ـ دوتيه وفي مدينة ويمرو (1874) من قبل آ. جيارد A. Giard ، وفي مرسيليا ، وسان فاست لاهوغ (ي. بيرييه Perrier (1881) . وفي آركاشون (1883) ، وفي لوك ـ سور ـ مير (ي. دي لاج Delage) وتاماريس ، وسيت ، وموناكو (الامير البرت الأول) ، وفيل برانش والجزائر وسالمبو الخ . وفي إيطاليا تأسست المحطة المهمة في نابولي سنة 1874 من قبل العالم الزوولوجي الألماني انطون دوهرن Dohrn (1840 -1909) ولعبت على الصعيد الدولي دوراً مثمراً جداً في كل مجالات الزوولوجيا (المنهجية ، التشريح ، الفيزيولوجيا وعلم الأجنة). وبعد المحطة الاميركية الأولى التي أقيمت سنة 1873 من قبل ل. آغاسيز Agassiz على شاطىء جزيرة بينيكيز ، تلت في سنة 1886 محطة كبرى في منطقة وودس هول ، وهي موقع مثالي فوق كاب كود . وعدا عن المركز المهم للبحوث الذي أقيم في بلايموث (1881) أُنشئت محطات أخرى على الشواطىء الإنكليزية ، وخاصة محطة سانت اندروز في اسكتلندا من قبل ماك انتوش Mac Intoch وفي روسيا أنشئت محطات سيباستوبول على البحر الأسود ومحطة مورمانسك فوق المحيط المتجمد الشمالي ، وأنشئت مختبرات بحرية أخرى في اسبانيا (ستناندير) ، وفي استراليا وفي اليابان وعلى شاطىء أنام (نهاترانغ) .

الإستكشافات البحرية .ـ في النصف الثاني من القرن التاسع عشر توسع حقل الزوولوجيا البحرية بفضل الاستكشاف ، الحاصل ، زيادة على حيوانات الشاطىء الأوروبي والهضبة الأوروبية ، في أعماق المحيطات الكبرى التي بقيت حتى ذلك الحين غير مستكشفة ووضعت الخارطة الأولى

الباثيمترية (سبر أعماق البحار) للمحيط الأطلسي الشمالي سنة 1854 من قبل م. ف. موري Maury الذي اهتم أيضاً بالبيولوجيا البحرية . وقد ساد الظن يومئذٍ أن الحياة لا يمكن أن تتوجد فيها وراء الأعماق التي تزيد عن 600 إلى 800 متر . ولكن اكتشاف حيوانات متعلقة فوق كابل تلغرافي سحب من أعماق البحر المتوسط (2160 متراً) في سنة 1859 حمل على القيام بأعمال استكشاف الأعماق التي لا يدرك قعرها . وبرزت هذه الحركة في بادىء الأمر خاصة في انكلترا ، تحت تأثير نشاط سير ويفيل طومسون W. Thomson (1830 -1882) . وبعد الرحلة البحرية التي جرت على السفينة لايتننغ Lightning (1868) والسفينة بوركوبين (1869) ، في الأطلسي الشمالي تلت البعثة الكبرى لشلنجر Challenger . ولقد مخرت هذه السفينة الأطلسي والباسيفيكي من سنة 1873 إلى 1876 وكان على متنها و. طومسون وج. موراي وهـ. ن. موسلي وويلموسهن Willemoes-Suhn . وقد قدمت هذه البعثة العديد من المعطيات حول الأعماق الكبرى كما قدمت مجموعات ضخمة.وأرست مجلداتُها الخمسون من القطع 4 المتضمنة محاضرها ، أُسسَ علم خارطات البحار Océanographie (وقد أوجد هذا الاسم سنة 1912 من قبل فورل Forel) .

وأنجزت مشاريع من ذات المستوى في العديد من البلدان : في فرنسا جرت الرحلات البحرية لسفينة ترافايور وتالسمان (1881 -1883) وفيما بعد ، وعلى صعيد أكثر تواضعاً جرت رحلة كودان Caudan (1894) . وفي الولايات المتحدة جرت رحلات بلايك(1877 -1880) ، ورحلة الباتروس (1899 -1900) التي نظمها آ. أغاسيز . وبرزت ألمانيا في هذه الحركة بفضل بعثة فالديفيا (1899 -1900) التي نظمها ووجهها ك. شون K. Chun . وبرزت الداغارك بعثة انغولف (1895 -1896) وبلجيكا برحلة السفينة «بلجيكا» (1897 - 1899) في المحيط المتجمد الجنوبي الخ .

واستكشف الأمير البرت الأول ، أمير موناكو الأعماق البحرية فوق ظهر سفينتي : الهيرونديل ، والأميرة أليس ابتداءً من سنة 1885. أما المواد التي جمعها فقد أودعت في المتحف المحيطي لموناكو . وشكلت هذه المواد أساساً للعديد من البحوث المتخصصة والمهمة .

وفي آخر حد من القرن التاسع عشر قامت البعثة الهولندية المهمة المسماة سيبوغا Siboga وقد نظمها ماكس ويبر Max Weber الذي استكشف الأعماق في أرخبيل ماليزيا .

الأعلاق Plancton [الحيوانات والجراثيم البحرية السطحية] .ـ وهناك مظهر آخر من مظاهر البيولوجيا البحرية سوف يجذب الانتباه . في سنة 1828 قام فوهن طومسون بنشر شبكاته الرفيعة فوق سطح بحر ايرلندا، فأسر أجساماً ميكروسكوبية عائمة . وجرت اكتشافات مماثلة قام بها اهرنبرغ Ehrenberg وج. موللر Müller ثم من قبل ليلجيبورغ Lilljeborg سنة 1853 ثم سارس Sars . هذه الحيوانات البحرية والنبتات البحرية العائمة إما فوق سطح البحر أو في مستويات مختلفة العمق تشكل ما سمي بـ بلانكتون (وهو تعبير ابتكره هنسن Hensen سنة 1887) . وقد أغنى العمل اليومي في المحطات البحرية ، وبسرعة معارفنا حول هذه الحيوانات الشعرية .

هذه الحيوانات ذات الأشكال الراشدة الشفافة تنتمي إما إلى فصائل معائيات الجوف مع قناديل البحر والسيفونوفور ، وهي أشكال مستعمراتية ذات أفراد متعددة الشكل ، أو هي تنتمي إلى

المغلّفات Tuniciers مع السالبس ومتلألئات الأجسام المضيئة[1] والدوليولم .

ولكن العنصر الرئيسي في العلق يتكوّن من أجسام ميكروسكوبية إلى حدٍ ما تتضمن ، إلى جانب الأنماط الراشدة ، العديد من الأشكال اليرقية تتطابق مع راشدات تعيش فوق الأعماق . ولدراسة هذه الأشكال اليرقية أهمية كبرى بالنسبة الى علماء الزوولوجيا. يضاف إلى هذه العناصر ذات الطبيعة الحيوانية عناصر ذات طبيعة نباتية (الاشنات أو الطحالب الميكروسكوبية وبصورة خاصة المشطورات Diatomées) .

ونظمت بعثة كبيرة : Plancton Expedition (1889) فوق سفينة ناسيونال من قبل مجموعة من الزوولوجيين الألمان لدراسة هذه الحيوانات البحرية .

وتدل الاشارات السابقة على أهمية وعلى غنى الدراسات البيولوجية البحرية التي تمت في القرن التاسع عشر . وقد ساعد على هذه الحركة التقدم الذي حصل في مجال الميكروسكوبيا وبفضل التصور العام للتطور الذي نسق بين الوقائع المرصودة ، والذي أعطى للآناتوميا (علم التشريح) المقارنة ولعلم الأجنة قيمة ومعنى جديدين ، وإيحائيين بشكل خاص .

الحيوانات المائية المستنقعية وعلم الليمنولوجيا (علم البحيرات) .ـ منذ سنة 1850 لاحظ سيموني Simony التشعبات الحرارية في مياه البحيرات . ولكن فوريل Forel ، بفضل دراسته الحيوانية لبحيرة ليمان (1869) ، هو المؤسس الحقيقي لعلم البحيرات (وهو الذي أوجد كلمة ليمنولوجيا سنة 1892) . وفي سنة 1870 اكتشف الدانماركي . ب . ي . موللر Müller الحيوانات المائية ـ النباتية التي تعيش في البحيرات . وبدأت البحوث الليمنولوجية التي قام بها ويسمان Weismann سنة 1877 . كما أكملها بليسي غورت Plessis-Gouret بأبحاثه سنة 1885 .وأنشأ انطوني فريتش Fritsch أول محطة بيولوجية للمياه الحلوة في بوهيميا . وتم استكشاف بحيرة سوبريور (العليا) [الولايات المتحدة] سنة 1871 من قبل س . ي . سميث . وصدرت أربعة منشورات مهمة في أواخر القرن التاسع عشر فدلت على ازدهار الليمنولوجيا : بحيرة ليمان (1892 -1895) لفوريل ، وكتاب « البحيرة ككون صغير The Lake as a microcosmos »(1887) لفوربس ؛ ثم (1899) Das Leben der Die georhische Binnengewasser للمبرت Lampert كما صدرت مجلة حول الأعمال الحديثة سنة 1899 (لوارد Ward) .

(1) ان البريق أو الاضاءة هي خاصة تمتلكها أجسام خيطية عديدة (خاصة الليليات ، وهي بروتوزويرـ من مجموعة السوطيات) والعديد من الحيوانات البحرية التي تعيش في الأعماق مثل بعض أنواع الثاقبات وأيضاً الحيوانات البرية ، خاصة الحشرات . إن الأوالية الفيزيائية الكيميائية للاضاءة قد درست جيداً من قبل ر. دوبوا Dubois على الفولاد Pholades . وبيّن أن انتاج الضوء يحصل بفعل خميرة دياستازية (لوسيفيراز luciférase) على مستحضر من الافراز الغددي (لوسيفيرين Luciférine) . أما التنوير فقد درس بصورة رئيسية من 1870 الى 1899 لدى حيوانات متنوعة من قبل كل من بانسيري Panceri ، وبل Bell ، وباكار Packard ، وبيدارد Beddard . . .

VIII ـ الجغرافيا الحيوانية

إن كتاب Die geographische Verbreitung der Thiere الذي نشر سنة 1853 من قبل ل. شماردا Schmarda في جامعة غراتز قدم توضيحاً ممتازاً للجغرافيا الحيوانية في القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر. وعرض أنماط وأسباب توزيع الحيوانات. وناقش مفعول العوامل المتنوعة (الحرارة والضوء والهواء والكهرباء والمناخ والدورات الفصولية ، والغذاء وطبيعة الأرض والارتفاع . . . الخ .)على توزيع الحيوانات . إن الأنواع البديلة (أي التي يحل بعضها محل البعض الآخر) قد ذُكرت سابقاً . ويعالج المؤلف فكرة المناطق الزوولوجية ويذكر إحدى وعشرين منطقة أرضية وعشر مناطق بحرية ، تتميز بحيوانات منتقاة أحياناً ، بصورة عشوائية تقريباً .

إن تحديد المناطق الحيوانية المختلفة قد شغل المفكرين ، فحاول ب. ل. سكلاتر P.L.Sclater (1858) أن يوضح هذا التحديد سنداً لتوزيع الطيور ، وحاول آ. غونتر A Gunther (1858) أن يوزعها سنداً لتوزيع الزحافات .

وأحدث ظهور كتاب داروين « أصل الأنواع » (1859) تغيراً كاملاً في اتجاه العمل . لقد تأثر داروين كثيراً بتوزيع الحيوانات فوق القارات وفي الجزر . وبعدها انتهى عصر الوصف . وانصب الاهتمام بصورة أكثر على التفسير وعلى مناقشة الظاهرات ، ضمن منظور توزع الحيوانات . وقد اهتم آ. ر. ولاس A.R. Wallace الذي عاش سنوات عديدة في المناطق المدارية بتوزع الحيوانات اهتماماً كبيراً . ومن سنة 1860 حتى سنة 1876 حرر دراسة مهمة بعنوان : « التوزيع الجغرافي للحيوانات » (مجلدان) . ويعتبر هذا الكتاب اليوم عتيقاً جداً ، بسبب تغير التصنيف والتقديمات الجديدة في مجال علم المتحجرات ، وولادة علم البيئة . وهناك مؤلف آخر لولاس Wallace « الحياة الجزيرية » (1880) ، احتفظ بجدته حتى اليوم . خلال كل هذه الحقبة كانت أفكار ولاس مسيطرة .

في سنة 1868 اقترح ت. هـ. هوكسلي Huxley توزيع المناطق الزوولوجية الى ثلاث مناطق كبرى سماها شخص مجهول « أركتوغا » Arctogaea (وهي مناطق : القطبية القديمة ، القطبية الحديثة ، الشرقية ، والأثيوبية) والنيوغا Neogaea (المنطقة الاستوائية الجديدة) والنوتوغا Notogaea (استراليا) . وأدخل هيلبرين Heilprin (1887) منطقة قطبية حديثة Holoarctique ، تجمع المناطق القطبية الأقدم والمناطق الوسطى (Néarctique) . وهذه الرسيمة تتوافق في خطوطها الكبرى مع التقسيمات المعتمدة في الكتب العصرية .

في القرن التاسع عشر ولدت أيضاً القارات الجسور المفترضة التي من شأنها أن تفسر التشابهات الحيوانية في قارات منفصلة اليوم بل وبعيدة جداً عن بعضها البعض . فالمشابهات الملحوظة بين حيوان جنوب انكلترا وحيوان ايرلندا واسبانيا والبرتغال حملت ي. فوربس Forbes (1846) على تصور قارة اجتازت الأطلسي . وتم أيضاً تصور قارات جزيرية أخرى في مختلف المحيطات خاصة قارة « غوندوانا Gondwana » (ماركو Marcou وا. سويس E. Suess) الخ . التي دلت الأعمال الحديثة على عدم وجودها ، وعلى عدم وجود قارة واسعة في القطب الجنوبي قيل انها جمعت بين مختلف القارات وزيلندا

الجديدة (ج. د. هـوكروت . هـ. هوكسلي 1870) .

ويجب أن نذكر أيضاً أعمال س. هـ. ميريام C.H. Merriam حول الدراسة البيولوجية للقارات (1898- 1890) .

أقام ميريام نظرية حول المناطق الحيوية وحول الشروط الدنيا والقصوى الملائمة للحياة ، وقدر وجود تطابق بين مختلف الارتفاعات في الجبال وبين المناطق المناخية القارية . وقد انتقدت هذه النظرية في القرن العشرين وأصبحت موضوع بحوث جديدة .

وفي السابق كان آ. فون همبولد Humboldt في كتابه «Ansichten der Natur» (1808) وفي كتابه كوسموس (1854) قد اهتم بالمساحات التي من شأنها أن تكون مأهولة بسبب ظروف المكان . وعالج ك. سمبر Semper نفس الموضوع في كتابه : Die Natürlichen Existenzbedingungen des Thieren (1880). وفي دراسة لعلم المناخ التحجري التطبيقي ، على الجغرافيا الحيوانية بعنوان (Ueber Tundren und steppen der Jetzt-und Vorzeit 1890) حلل آ. نهرنغ Nehring التركيب الحيواني الحالي والحجري في سهول التندرا والسهب ، وتأثير تقدم وتراجع جبال الجليد القارية نحو العصر البليوستوسين .

وفيما عدا كتاب شماردا السابق الذكر ، كان التوزيع الجغرافي للحيوانات موضوع أعمال عديدة شاملة منها أعمال ك. ل. روتيماير (L. Rütimeyer) : « Über die Herkunft unserer Thierwelt 1867 » وأعمال آ. هلبرين (التوزيع الجغرافي والجيولوجي للحيوانات ، 1887) وأعمال آ. ي. أورتمان Ortmann (Grundzüge der marinen Tiergeographie, 1896) .

* * *

إن الصفحات السابقة تدل على التقدم الضخم وعلى التوسع العظيم الذي حققته الزوولوجيا بخلال القرن التاسع عشر . وبقي التقدم مستمراً ، بشكل لا يقل روعة ، عما سبق ، في النصف الأول من القرن العشرين الذي تميز أساساً بالانتقال الى الصعيد التجريبي ، لغالبية المسائل التي عولجت فقط حتى ذلك الحين على صعيد الملاحظة الوصفية البسيطة .

هذا التوسع المدهش كان له نتيجة هي التخصص الضروري بالنسبة الى علماء الزوولوجيا . ثم ان تركيب ومؤالفة المعارف المكتسبة اقتضى الآن تعاون العديد من المؤلفين . وهذه الواقعة كانت قد برزت في أواخر القرن التاسع عشر . ونجد تعبيراً محدداً عنها ، في ذلك الحين ، في نشر موسوعة شاملة زوولوجية باللغة الألمانية تحت اسم : «Brown's klassen und ordnungen der Tierreichs». ومع ذلك استمرت الزوولوجيا في معظمها ، في أن تكون علماً ذا موضوع محدد جداً لم تنفك أهميته وتغلغله يثبتان أكثر فأكثر .

علم النبات (بوتانيك)

I ـ المورفولوجيا العامة (علم التشكل الحيواني والنباتي)

إن هذا القسم من البوتانيك ، المرتبط في أغلب الأحيان ارتباطاً وثيقاً بالبحوث المتعلقة بالخلية ، قد نما نمواً ضخماً في القرن التاسع عشر مما ساعد بشكل واسع على إعطائه وجهه الخاص .

وفتح بريسو دي ميربل Brisseau de Mirbel الطريق سنة 1802 ، وذلك بنشر مؤلفه الشهير « كتاب التشريح وعلم الوظائف النباتيين » . وبواسطة رجال أمثال تريفيرانوسTreviranus ، ومولدنهاور Moldenhawer ، وبرنهاردي Bernhardi فرض علم التشكل (مورفولوجيا) نفسه في الحال . ثم توضح بفضل مجموعة من العلماء الموهوبين معظمهم من الألمان أمثال: شمبر ، برون ، وبخاصة موهل ، وشليدن ، وهوفمستر ، وناجيلي ، وباري ، وساش ، وستراسبورجر ، وغوبل . . .

ودخل تصور غوته Goethe ـ واضع كلمة مورفولوجيا بالذات ـ بصورة طبيعية في إطار الفكر المثالي المعادي للميكانيكية والذي ازدهر في ألمانيا في بداية القرن التاسع عشر . وتولدت بعض النظريات الكبرى يومئذٍ تحت تأثير : « فلسفة الطبيعة » : نظرية التحول (التناسخ : غوته) ، ونظرية التصاعد الحلزوني (شمبر Schimper وبرون Braun) .

الفيلوتكسي (Phyllotaxie) أو ترتيب الأوراق ـ وتوسعاً ترتيب الأغصان والفروع ـ هو علم يدل على أحد الأوجه الأساسية في الشكل وفي البنية . وهو ذو ارتباط بعلم التنسيق (أورغانو غرافيا) وبعلم الأجنة (امبريولوجيا) . عند مستوى العقدة تكون الأوراق إما متقابلة أو متحلقة حول محورها بشكل دواري ، أو تكون ، في أغلب الأحيان منفردة . في هذه الحالة الأخيرة يمكن بسهولة تحديد العمر النسبي للورقة ، فتكون الأقدم واقعة في موقع أسفل فوق الغصن المعين . وبالانتقال ، بالنظر فوق الغصن من ورقة الى ورقة ، نرسم لولباً حلزونياً . وبالاسقاط فوق سطح تبدو ورقتان متتاليتان

مفصولتين بزاوية معينة أقصاها 180 درجة : ذلك هما المفهومان الأساسيان : اللولب المولد ، ثم التفارق ، في النظرية الكلاسيكية المقررة من قبل ك. ف. شمبر وآ. برون Braun حوالي سنة 1830 . وإذا توجب مثلاً ، الدوران ، مرتين حول الغصن ، لكي تصبح الورقة السادسة واقعة فوق الأولى ، يجري الكلام عندئذٍ ، عن النمط $\frac{2}{5}$ (أي دورتان وخمس ورقات) . وهو كسر يعبر أيضاً عن زاوية التفارق : 72 درجة . إن هذه القوانين الرياضية ، المحسنة من قبل ل. وآ برافي Bravais (1837 -1839) أصبحت بعد ذلك شائعة الاستعمال في المورفولوجيا الوصفية .

لقد فتحت طريق خصبة للغاية بفضل بحوث هوفمستر Hofmeister وشوندينر Schwendener حول تحديد موقع الأوراق على الغصن وحول بعض مظاهر عمل البراعم . وكانت النظريات الميكانيكية لهذين المؤلفين ، وان بدت غير كافية ، مفيدة جداً بالنسبة الى البحوث الحديثة ، ولو كفرضيات عمل . منذ 1868 وضع هوفمستر ، صيغة المبدأ الأول الكبير في هذا المجال : كل ورقة تولد الورقة ضمن الفضاء الأكبر الحر الموجود بين الأوراق الأخيرة التي سبق تكوينها . في هذه المسافة (المنطقة) ، كما أعتقد هوفمستر، تتمتع الجوانب الخلوية بمطاطية قصوى . أما س. شوندينر فيلجأ الى مفهوم الضغط : تولد الورقة الجديدة في الموضع الذي يكون فيه الضغط الناتج عن الانبثاقات الورقية الأخيرة ، في حدوده الدنيا .

نظرية الزهرة .ـ إن نظرية اللولب المولد تنطلق في بدايتها من « فلسفة الطبيعة » ومن تصورات غوته . وبفضل غوته أيضاً ارتسمت النظرية حول الزهرة ، والتي ليست أقل كلاسيكية . إن اللولب المولد يمتد داخل الزهرة حتى يصل الى السداة (عضو التذكير) التي تحمل غبيرات ذكرية ، وحتى يصل الى الخباء أو الوحدات الحاملة لغبيرات التأنيث : وتمثل مجموعة السداة والخباءات أوراقاً زهرية « سبوروجينية أو سبوروفيلية » . إن هذه النظرية حول التحول (ميتامورفوز) تلقت أساساً علمياً بفضل البحوث التشريحية التي قام بها فيليب فان تيغم Tieghem (1871) : كان الجذع ، والورقة والجذر في نظر آ. برون وحدات مستقلة عن بعضها البعض تماماً . وتبنى « فان تيغم » هذا المفهوم الذي لم تثبته البحوث اللاحقة ، على الأقل بهذا الشكل الجامد . ويعود الفضل في خلق مناخ ملائم للمفاهيم التوحيدية الى ك. غوبل الذي لم يرَ أي فرق أساسي بين الجذع والورقة .

بنية الأنسجة ونموها .ـ في جميع جبهات البحث المورفولوجي تطور الصراع ضد « فلسفة الطبيعة » . وقاد هذا الصراع في بادىء الأمر هيغو فون موهل ، وهو أكبر المشرحين في ذلك العصر . وبحوثه ، وإن اقتصرت على النبتة الراشدة ، قادته الى نتائج ذات أهمية من الدرجة الأولى حول الطبيعة الخلوية في الأوردة (1831) وحول بنية وحول البنية العرضي للأغشية الخلوية ، وحول التشريح المقارن للجذع في النبتات الوحيدة الفلقة والثنائية الفلقة ، وحول بنية القشر والأدمة .

وفتحت مع شليدن Schleiden (1838) وناجيلي (1842) ، وهوفمستر (1849، 1851، 1867) أبعاد واسعة ، وتركز الاهتمام على تاريخ التطور . وبدا شليدن ميالاً الى المناظرة ، فلعب دوراً ضخماً في انتقاداته . وعرض في كتابه : « مبادىء البوتانيك » (1842) المبادىء المنهجية للمستقبل القريب .

وتبدو بحوث ناجيلي حول الأنسجة (مريستيم meristème، وهي كلمة من ابتكاره) عند

الطحالب ، والسرخسيات والخزازيات ، وحول قوانين الانشطار عند القمة ، وحول بنية ونمو الأغشية الخلوية، مكتسبات مهمة في البيولوجيا . وبكلمة « مريستيم » قصد « ناجيلي » المناطق النواتية المتميّزة بقدرة الخلايا على الانقسام بنشاط (ذرى الأغصان ، داخل البراعم) . يرى ناجيلي Naegeli ، الذي أسس مفهومه مستنداً لدراسته للكريبتوغام Cryptogames، أنّه يوجد داخل كل مريستيم خلية ذروية قمية ، محورية متميزة تنطلق منها كل خلايا الجذع ، والأوراق ، بواسطة الانقسام المتتالي . وبدت هذه النظرية التي اعتمدها هوفمستر (1851 ,1857) غير ملائمة في حالة الفانيروغام Phanérogames ، على اثر أعمال شوندينر، وخاصة هنستين Hanstein (1868- 1870) . واقترح هنستين ، فيما خص النباتات العليا نظرية جديدة سميت نظرية الهستوجينات ، وبموجبها لا يوجد خلية ذروية أساسية ، بل ثلاث خلايا ، وكل واحدة من هذه الخلايا المحورية الأساسية تعطي عن طريق الانقسام ثلاث وريقات أو هيستوجينات . وكل هيستوجين تشكل أقساماً محددة في النبتة . ويعود الى ل. كوش Koch (1891) الفضل في كشف مظاهر جديدة في تنظيم الميريستيمات في فصيلة عاريات البذور ،وفي انه وجه البحث نحو المفاهيم الحديثة . وتبقى نظرية ناجيلي حول الذرات الحكمية المتعلقة بالبنية الخلوية للأغشية الخلوية ، كاستباق تصوري جريء لما كشفته الدراسات الحديثة الجارية بواسطة الميكروسكوب الالكتروني . يرى ناجيلي أن الغشاء الخلوي في الخشب ، يتكون من كتل صغيرة من السلّلوز ، هي الذرات الحكمية أو « الميسيل » ، المركبة كما تركب الأحجار التي يبنى بها الحائط ، وترص معاً بمادة معقدة ذات أساس خيطي (لينين) . أما الفراغات بين الذرات الحكمية فيمكن أن تتميه [من ماء] وان تنتفخ ، في حين لا تستطيع الميسيلات أو الذرات الحكمية أن تفعل ذلك . وفسر ناجيلي بهذا الشكل تواجد مناطق لا شكل لها ، ومتبلورة في الأغشية ، مع ظاهرات التمدد والتقلص في الخشب وهي ظاهرات تتضخم أكثر في العرض ، مما هي في الطول ، باعتبار أن الميسيلات تتمدد بحسب المحور الأكبر في الخلية .

وقد لعب هوفمستر دوراً أكبر أيضاً ، وهذا حدث كما سنرى في العديد من الاتجاهات . وإذا كان قد اصطدم ، من جراء ضخامة تصوراته وجدتها ونفاذها ، في بعض الأحيان ، بالكبار من معاصريه أمثال شليدن وبرون وناجيلي بالذات ، فإن كتبه المهمة (Vergleichende untersuchugen der Keimung 1851; Allgemeine Morphologie 1867) تعتبر أحجار زاوية في علم البوتانيك . والألمان أيضاً هم الذين نشروا الكتب الأبرز في نهاية القرن : ج. ساش (1874) ، وايكلر Eichler : (Bluethendiagramme 1875 -1878) ، ثم آ. دي باري A. de Bary (Vergleichende 1877 Anatomie) ، وهـ. فون فوتنغ H. Von. Vöchting (1878) وج. هابرلندت (فيزيولوجيا وتشريح النباتات ، 1884) وي ستراسبورجر (1894) وك. غوبل (أورغانوغرافيا النباتات 1898) .

ومن بين الكتاب الفرنسيين يجب ذكر ج ـ ب. باير (تكوّن أعضاء الزهرة ، 1852) ، وفيليب فان تيغم (1884) ، وكانت أعمال فان تيغم حول بنية النباتات وخاصة صياغته لنظرية المسلة ، ذات أهمية أساسية ، خاصة في التحليل البنيوي للسرخسيات . وقد استعيدت هذه النظرية وطورت من قبل الاميركي ا. ك جيفري Jeffry . وقدمت فرنسا مساهمة مهمة جداً في متحجرات النبات خاصة أدولف برونيارت ، وبرنار رينولت ، وف. ش. غرند ـ أوري Grand'Eury ، ور. زيلر

وسابورتا Saporta ، وش. ي. برتران وو. لينييه Lignier ، ولكن هذا الحقل العلمي كان له ممثلون مميزون في خارج فرنسا منهم : ف . انغروج . هـ . ر . غوبرت Goeppert وهـ . سولمس ـ لوباخ Solms-Laubach، وو. ش. وليامسون .

II ـ التصنيف الطبيعي . منهجية تصنيف نباتات الكرة الأرضية

كان لنظرية داروين وولاس على تصنيف النباتات انعكاسات عميقة جداً . إذ فجأة اتخذت الأنواع والأصناف والأسر وبصورة أعم « التكسونات = أصناف » من مختلف المراتب والتي جهد في اكتشافها المنهجيون ـ، المعنى الأعمق والموضوعي ، أي معناها العلمي الحق . إن التصنيف لم يعد يتعارض مع « التطور » بل أصبح التعبير عنه .

ولكن يذكر أن التصنيف لم ينتظر الداروينية ليوجد ، ولكنه لم ينفك يتحسن تبعاً للدراسات التحليلية حول تركيب وتطور وأنثوية الأجسام . لقد كان لوضع النظرية الخلوية ، وإبداع نظرية الأنثوية النباتية ، وتعاقب الأجيال ، بين 1820 و1855 ، الآثار الأكثر حسماً في المفاهيم التصنيفية الجديدة . ولا بد من التشديد على أن البحوث الأساسية عند هوفمستر ـ الذي وضع وحدة بنية حاملات الرحم والفانيروغام (الطحالب : الفوجير والموس ، وعاريات البذور ومغلّفاتها)، وعند شليدن وناجيلي ، وتولان ، وهي بحوث دلت كلها على الأهمية الأساسية التي لعلم الأجنة وللتطور ، قد سبقت ، وإلى حد ما قد بشرت ، بالثورة الداروينية .

ويجب أن نلاحظ أيضاً ، مهما بدا ذلك مستهجناً ، أن الداروينية لم يكن لها آثار آنية مباشرة على علم المنهجية . فهذا العلم هو في الواقع جهاز ثقيل مزود بجمود ضخم ، كما يمكن أن يكون مغلوطاً عند مستوى تفريعاته ، دون أن يكون رغم ذلك ذا مساوىء مزعجة على صعيد الاستخدام : وما تزال أنظمة ليني وديفري ، وان بدت مصطنعة ، تحتفظ بقيمة ضخمة في مجال العلم المعاصر . إذ يتوجب التفريق ، من جهة بين التسمية ووصف الأنواع والأجناس ، وهي تفريعات في التراتبية الدنيا ، ومن جهة أخرى بين البحث عن نظام إجمالي مع ما فيه من تفريعات متتالية انطلاقاً من الوحدة العليا في عالم الأحياء ، هاتان المهمتان المشروطتان بالوتيرة المتسارعة للاستكشاف وبتقدم العلم التجريبي وخاصة تقدم التقنية الميكروسكوبية ، توبعتا بنشاط ، خلال القرن . وأتاح هذا الجهد نشر العديد العديد من البحوث والأعمال حول نباتات الكون : بين 1789 و1850 تم وصف حوالي 72 ألف نوع جديد تقريباً ، والعدد الاجمالي للأصناف المعروفة بلغ 92 ألفاً . وبين 1825 و1845 ، أي بين « مراتب النباتات » لمؤلفه ش. آ. آغارد Agardh ، والتعديلات الأخيرة التي أجريت على نظام لندلي Lindley ، تم تقديم أكثر من عشرين نظاماً ، وأمكن الكلام عن « معرض أنظمة » حقيقي .

1 ـ أطر تصنيف المملكة النباتية ، وبصورة خاصة الفانيروغام Phanérogames

آ ـ ل. دي جوسيو **de Jussieu** ، وبداية القرن التاسع عشر .ـ مارست الطريق الطبيعية التي قدمت في كتاب «Genera plantarum» لمؤلفه آ ـ ل. دي جوسيو (1789) ، وهي الأولى من نوعها ،

تأثيراً كبيراً بخلال النصف الأول من القرن . وهي ترتكز بصورة أساسية على جملة من الصفات مستمدة من مختلف أقسام النبات ، ومتعلق بعضها ببعض . وليس لهذه الصفات أي شيء من التميّز إذا أخذت بمفردها . ولكن « التقييم التصنيفي » الذي تناولها لأول مرة عمل على التنسيق بين العائلات والأنواع بحسب علاقاتها الطبيعية ، وهو مشروع خاف منه ليني . إن نظام جوسيو يرتكز على نظام تورنفور الذي يتمفصل حول معيار التويج ، ولكنه أدخل في الاعتبار الفلقات، الاعتبار الذي اعترف به ريRay، وكذلك اعتبار الموقع النسبي الذي يحتله التويج أو الايتامينات بالنسبة إلى المدقة: حالة نمو الورقة في أسفل الجذع (التويج أو أعضاء التذكير « الايتامينات » الواقعة تحت المبيض) ، النشوء اللابنيوي (التويج أو أعضاء التذكير مركزة على المبيض) ، النشوء المحيطي (التويج والايتامينات أو أعضاء التذكير مزروعة حول المبيض). وبواسطة هذه المعايير أقام جوسيو نظاماً يتضمن خمس عشرة فئة ، أغلبها مصّطنع ، ومئة مرتبة (هي في الواقع أُسَرٌ أو عائلات) .

وبالإجمال فتح نظام جوسيو الطريق أمام التصنيف الحديث . ولكنه ، كما أشار ساش ، أعطى للفلقات قيمة أكبر من القيمة التي تستحقها في الواقع . ولم يكن جوسيو يرى فرقاً بين الفطر (وهو بدون فلقات) والزنبق ، كما لا يرى فرقاً بين هذه النبتة الأخيرة ونبتة الصفّير أو الحوذان (رينونكول) . وكان علماء تلك الحقبة يميلون للأسف ، وهو ميل أقل بروزاً عند جوسيو مما هو عند غيره ، إلى إعطاء خفيات الإلقاح الصفات المعروفة لدى النباتات ذات الأزهار ، كما أنهم لم يروا أي فرق أساسي بين هذه المجموعات .

أوغست ب. دي كاندول de Candolle ور. براون Brown ـ بفضل العالم الاسكتلندي الكبير روبير براون (1773 -1858) تقدم التصنيف بشكل جدي خالص . كان براون عالماً طبيعياً في بعثة فلندرز الى استراليا (1801) ، وقد أقام عدة سنوات في هذه القارة وجلب منها مجموعة ضخمة (4000 صنفاً أغلبها كان جديداً بالنسبة الى العلم) . ومنذ سنة 1810 (Prdromus Florae Novae Hollandiae) تصور نظاماً يختلف قليلاً عن نظام جوسيو ، ولكن اكتشافه الرئيسي هو اكتشاف السمة الأساسية في الجيمنوسبارم : كون البويضات عارية وهي سمة استفاد منها هوفمستر وبرونيارت . والعلم مدين له ، من جهة أخرى ، بدراسات مهمة جداً عن عائلات عدة منها الصقلابيات الفربيونيات ، والسحلبيات (وابتكر أربعين صنفاً من هذه الأخيرة) ، ثم النجيليات Graminées .

في سنة 1813 ظهرت دراستان مهمتان إحداهما للمتخصص بالطحليات ، لامورو Lamouroux ، والأخرى للعالم أوغسطين ب. دي كاندول حول : « النظرية الأولية حول البوتانيك » . فجعلتا من هذا التاريخ معلماً مهماً في تاريخ التصنيف .

كان كاندول (1778 -1841) تلميذاً لديفونتين Desfontaines ، واشتهر بأنه أعد الطبعة الثالثة لكتاب لامارك وعنوانه « الفلورا الفرنسية » . أما كتابه « النظرية الأولية » فهو كتاب كبير جداً ، عرضت فيه لأول مرة ، وبشكل متقن ، مبادىء التصنيف ، أو ما سماه كاندول بالتكسونومي وهو اسم بقي مستعملاً . وفيه اقترح نظاماً ينطلق من نظام جوسيو بشكل خالص ، ولكنه عرض فيه عدداً كبيراً جداً من الأسر : 161 في طبعة 1819 ، و213 في الطبعة الأخيرة (1844) . ومن مستجدات

هذا الكتاب إدخال الصفات التشريحية : فهناك النباتات الوعائية أو ذات الأوردة والأخرى هي النباتات الخلوية (مثل الطحلب ، والكبديات ، والأشنة والفطر) . والنباتات الوعائية تتضمن خارجية المنشأ (أوعية مرتبة بشكل طبقات وحيدة المركز) أو ذوات الفلقتين، وهناك داخلية المنشأ (أوعية مرتبة بشكل ضمائم) أو وحيدة الفلقة . وفي تجمع الأسر استخدم المؤلف بشكل أساسي موقع وصفة التويج أو البتلة وميّز بين «ثالامي فلور» (بتلات منفصلة وهيبوجين = نابتة على أسفل) والكأسيات الزهر (بتلات محيطية أو لابنيوية المنشأ) ثم الكوروليفلور (بتلات ملتحمة وهيبوجين) .

حسّن نظام كاندول بشكل كبير نظام جوسيو ، ولكنه تضمن العديد من النواقص الجدية . والمؤلف يعترف بأنه لم يضع إلا « هيكلاً متقناً » للتوصل الى غاية هي بنظره « دراسة التناظر الخاص ضمن كل عائلة ، وكذلك العلاقات بين هذه العائلات » . ولكن كاندول لم يكن فقط فيلسوف التصنيف . فقد هدف الى صياغة مؤلف ضخم شامل لكل الأصناف المعروفة ، فوضع المجلدات السبعة الأولى لكتاب شهير هو «Prodromus Systematis naturalis regni vegetabilis» وقام بنشرها سنة 1824 . وبعد موته سنة 1841 تولى ابنه الفونس بيرام Pyrame (1806- 1893) إدارة النشر ، واستطاع بمعاونة العديد من الاختصاصيين أن ينهي العمل سنة 1873 . هذا العمل الذي يحتوي على سبعة عشر مجلداً سوف يمتد تحت شكل (Monographiaephanerogamarum)،موسوعة نشرها الفونس دي كاندول وابنه كازيمير (9 مجلدات ، 1879- 1891) .

« **إستعراض الأنظمة** » .ـ إن نظام كاندول ، المرتبط بدقة بعمله الموسوعي ، وهو عمل أساسي يرجع اليه بشكل دائم، لا يمكن إلا أن يشكل معلماً في عصره .

« في معرض الأنظمة » الذي تلى ، انفصلت ثلاثة مؤلفات موقعة من قبل اندليشر Endlicher ، وادولف برونيارت ولندلي . ونشر العالم النباتي س. اندليشر (1804- 1849) كتاب « العام في النبات » (1836- 1840) وكان تأثيره ضخماً . وفيه يقسم المملكة النباتية الى عديمات الساق والجذر (تالوفيت Thallophytes) (الطحالب ، والأشنة ، والحزاز، والفطر) والى ذوات الجذر (كورموفيت Cormophytes) (نبات العجوز ، حزاز، والسرخس ، نباتات ذات حبوب) ؛ ويعتبر نظامه حول الصنوبريات (1847) وهي نباتات تحتوي ، حسب تصنيفه على الرجرجيات Gnétacées وعلى الجنكيات Ginkgo معلماً مهماً .

ومع برونيارت تم التركيز على الفاصل بين باديات الزهر (الفانيروغام) ، أو النباتات ذات الحبوب ، واللازهريات (الكريبتوغام) . وأعيد ترتيب « بستان النبات في المتحف » وفقاً لهذا التصنيف سنة 1843 . ومن جهة أخرى الغى برونيارت العديمات التويج التي قال بها جوسيو ، والتي يعتبرها برونيارت من متعددات البتلات غير الكاملة ، كما أنه أبرز الفائدة من الصفات المستمدة من السويداء (ألْبُوْمِنْ) . ورسم ، حول العديد من المواضيع الأخرى ، مثلاً في دراسته العاريات البذر (الجيمنوسبرم) أو في تصنيفه للافطار ، بعض التوجيهات التي ثبتت فيها بعد ، ولكن تصوراته لم تخلُ دائماً من أخطاء ومن تمويه .

يعتبر جون لندلي (1799- 1865) ، مؤلف كتاب شهير حول النظرية والممارسة في البستنة . ومنذ

1830 وفي كتابه « المملكة النباتية » الذي طبع عدة طبعات (1846, 1847, 1853) ، اقترح نظاماً فضله الكبير كامن في أنه استطاع انزال نظام ليني Linné المستعمل حتى ذلك الحين في انكلترا عن عرشه . وفيه تبدو اللازهريات (الكريبتوغام) كنبتات خنثوية ، والنظام في مجمله قليل الارضاء .

الجنينة العامة لبنتام وهوكر Le Genera Plantarum de Bentham et Hooker . ـ بين 1862 و1883 ظهر كتاب « البستان العام » (ثلاثة مجلدات) لبنتام وهوكر . وهذا الكتاب وان كان لاحقاً لكتاب « أصل الأنواع » فهو يرتبط من حيث الفكر بالمرحلة السابقة .

وجورج بنتام (1800 -1884) ، وهو المؤلف الرئيسي ، قاوم لمدة طويلة ، ان لم يكن أبداً ، المفاهيم الداروينية ، وأبرز وجهات نظره وفضلها على وجهات نظر هوكر الدارويني منذ الساعة الأولى . وقد سبق لبنتام أن نشر العديد من الكتب : « وسيط حول النباتات البريطانية » ، و« بحوث متخصصة حول الأسر » . وهو مؤلف كتاب « النباتات الاسترالية » (سبع مجلدات ، 1863 -1878) . وأثناء كتابة هذه البحوث المتخصصة حول الأسر ، لتقديمها لمعرض (برودروموس Prodromus) كاندول ، بدت له ضرورة كتابة « البستان العام » ، لأن الأنواع كانت يومئذٍ معرفة تعريفاً سيئاً . وبالتعاون مع هوكر ، بدأ سنة 1857 هذا العمل الضخم الذي استمر طيلة ربع قرن .

كان سير جوزيف دالتون هوكر (1817 -1911) ابناً لوليم هوكر ، أول مدير لبساتين كيو ، وهو أحد أكابر المنسقين المعروفين . وقد ربط اسمه بالعديد من النشرات ذات الأهمية الأولية ، وبخاصة بالنشرات الثلاث التالية : « النباتات في القطب الجنوبي » (6 مجلدات ، حجم أربعة ، 1844 -1860) : ثلاثة آلاف نوع موصوفة ، منها 1095 مرسومة على 530 لوحة ؛ نباتات الهند البريطانية (سبعة مجلدات ، 1872 -1897): 16000 نوع موصوفة . وأخيراً دليل كيو . وبحكم أنه رحالة ومنسق وكاتب أبحاث متخصصة فهو يعد من جملة العلماء القلائل ذوي العظمة الأولى ، وعلى مستوى الطليعيين الأوائل في الداروينية الذين منهم ليبل Lyell وهوكسلي Huxley .

لا يعالج كتاب الجنينة العامة ، أو النباتات العامة إلا فصيلة باديات الزهر (الفانيروغام) ، وهو يومئذٍ يشتمل على 97000 نوع ، وهو يختلف بشكل محسوس ، كنظام أو نهج ، عن نظام كاندول . والكتاب يشتمل على ثلاثة أقسام كبرى : 1) ذوات الفلقتين ، 2) العاريات البزر ، 3) وحيدة الفلقة . وذوات الفلقتين تقسم الى متعددات البتلة (1 ـ الزهرات ذات الكرسي ، 2 ـ الزهرات ذات القرص ، 3 ـ الكأسيات الزهر) ؛ وإلى متحدة التويجات (1 ـ مبيض داخلي ، 2 ـ مبيض خارجي ، وفوقه خباءان أي عضوان للتأنيث ، 3 ـ المبيض الأعلى ، ومعه خباءان) ؛ والى وحيدة الغطاء أو الدثار (العديمة البتلات) . والعلامة الفارقة في قرصيات الزهرات (Disciflores) (كراسي (أقراص) بشكل صحن) ، في مجموعة كاملة من الأسر (سذابيات Rutacées ، والغرنوفيات ثنائية الفلقة ذات البتلات الخمس Géraniacées والبلادريات الاميركية البطميات Anacardiacées ، الخ) . هي علامة جديدة ومفيدة . إنما في الكتاب عيب كبير : ان مكان « العاريات البزر » غير موضح .

الأنظمة الانسالية . ـ فُتحت الحقبة الحديثة بنشرات أ . و. ي . اكلر Eichler (1839 -1887) ، وآ . انغلر Engler (1844 -1930) وك . برانتل Prantl . وكانت نشرات أكلر ، مشبعة بمفهوم التطور ،

وكانت بداية للعمل العظيم الذي قدمه انغلر. ميز ايكلر اللازهريات (عديمات الساق والجذر) : الأشنة ، والفطر ؛ وميز البريوفيت Briophytes: كالحزاز (موس) والكبديات ؛ والمستورات الأعضاء التناسلية مثل : نباتات ذات أجنحة Ptéridophytes واللازهرية Equisétinées ورجل الذئب Lycopodinées وFélicinées وباديات الأزهار مثل كأسيات البزور وعاريات البزور) . وبالنسبة الى ايكلر تمثل النباتاتُ الأكثرُ تعقيداً ، من حيث التنظيم ، الأكثر تطوراً . أما عديمات البتلة فتعد من النباتات البدائية . وعاد انغلر الى هذه الرسيمة ، ولكن رسيمته الجديدة لا تختلف عن الأولى إلا من حيث التفصيلات . فانغلر ، مثل ايكلر ، يقول بأن النباتات ذات الأزهار الأكثر بدائية هي وحيدات الفلقة وثنائيات الفلقة المحرومة من البتلات ، وذات البنيات البسيطة ، والزهرات الصغيرة التي تضم عضوي التناسل ، والتي تتلقح عن طريق الهواء (آنيموفيل : ريحيات التلقيح) .

تنطلق كأسيات البزر من عاريات البزر النطفية ، والتي تبعثها حالياً ، من بعض الوجوه العتيقة ، القديات (أي ذات الأزهار الذكرية على شكل قِدة) والباندانال Pandanales : والقديات (كالبندق والشارم (البلوط) والجوز الخ) ، لها أزهار بسيطة ذات قدة تشبه الكوز (مخروط) عاريات البزر . وبرز التطور بفضل اكتساب الغلاف ، ثم باندماج الأجزاء أو القطع . وفيما يتعلق بالمشيمية ، أو الكيفية التي تلتصق فيها البويضات بالمبيض ، إتجه التطور من المشيمية المحورية الى المشيمية الجدارية ثم المشيمية المركزية الحرة .

وميز انغلر، في بادىء الأمر، من بين ذوات الفلقتين بدائيات الغمد Archiclamydées (لا غلاف، أو كأس فقط، أو كأس وفيه بتلات حرة)، ثم الغمديات التوالي Métachlamydées (بتلات ملتحمة وكأس) . ونرى أن التركيز قد تم على مفاهيم انعدام البتلات ، وكثرة البتلات ومتحد البتلات أكثر من التركيز على « الأقل من السوي » أو « المحيط » أو « الفوق » بالنسبة الى عضو التأنيث في الزهرة (Epigynie) .

وبالنسبة الى انغلر Engler لا تبدو لنا كأسيات البزر إلا بشكل سلاسل تطورية غير متتالية ومعزولة ، وطويلة نوعاً ما . كان أنغلر استاذاً في جامعة برلين ومديراً « للجنينة النباتية»(من 1889 الى 1921) ، ونشر بالتعاون مع برانتل Prantl ، أضخم تأليف في المملكة النباتية يمكن تصوره : «Die natürlichen Planzenfamilien 20 vol.» (1887 -1915) .

وقد تتابع عمله بشكل واسع في بداية القرن العشرين ، وقد اتسم بصدور نشرات أخرى أساسية (Das Pflanzenreich ; Syllabus der Pflanzenfamilien) ، وهو كتاب صدرت له إحدى عشرة نشرة ، الأخيرتان منها روجعتا على التوالي من قبل ي. جلغ E. Gilg ول. ديلز L. Diels (1924-1926) ويمثل عمله ، ان أمكن القول ، البنية التحتية لمختبرات المنهجة ، في كل مكان في العالم : انه الأدب الأساسي كما هو الرسيمة القاعدية في تصنيف الكتب النباتية .

ويكون من غير الانصاف إغفال ذكر الفرنسي هـ. بايون H. Baillon الذي نشر « تاريخ النباتات » (13 مجلداً ، 1867 -1895) . هذا العمل المهم الكلاسيكي ، الذي صدرت عنه طبعة انكليزية غير مكتملة يمتاز بنوعية تحليلاته المورفولوجية ، وخاصة تصويره الجيد .

2 ـ منهجة الكريبتوغام

الفطريات :ـ كان الهولندي ش. هـ. بيرسون Persoon (1755 -1837) بآن واحد ، ان أمكن القول ، جوسيو Jussieu وليني Linné في علم الفطريات . واليه ينسب ، بهذا الشأن ، عدا عن كلمة ميكولوجيا أي علم الفطريات ، نشر أول تنظيم كبير متعلق بالفطريات : Synopsis Methodica Fun-) gorum 1801 » وهو كتاب مُعتبر رسمياً كنقطة انطلاق في المصطلحات التي اطلقت على عدة مجموعات كبرى (أوريدينال ، أوستيلاجينال ، غاستروميسيت) . وغالبية الأنواع الواحد والسبعين التي عرفها تمّ الاحتفاظ بها . منذ 1787 ، أثبت النمساوي ج. هدويغ G. Headwig ان غبيرات اللقاح في البيزيز Pezizesتوضع ضمن اكياس صغيرة مستطيلة اسمها « تيك » (أو القُرَب عندنا اليوم) . وافترض بيرسون أن كل الفطور هي ذات قرب ، ثم ارتكز على التثميرات ، فقسمها الى طبقتين : انجيوكارب ، ذات ثمار مغلقة ، وجيمنوكارب تكون فيها الزقق (مفرد زق) مجموعة فوق مسند أو كرسي مفتوح هو الهيمنيوم . وركز بيرسون على قيمة تصنيف « الهيمينيوم » (وهو غشاء تجتمع فيه بوغات اللقاحات) ، وهو أول من عرف سنة 1818 الوحدة الطبيعية في فصيلة الاوريديني .

إن حقبة وضع المصطلحات الحديثة ، بالنسبة الى الماكروميسيت ، قد بدأت مع « نظام ميكولوجيكوم 1821 -1823 » الذي وضعه العالم السويدي الكبير ي. فريز Fries (1794 -1878) . كان فريز مشرع علم الفطريات ونشر فضلاً عن ذلك ، وابتداءً من سنة 1857 ، أعمالاً جيدة حول الهيمينوميسيت في السويد وفي أوروبا .

ونحن مدينون لـ ف. م. آشرسون F.M. Ascherson ، وبصورة خاصة للفرنسي ج.هـ. ليفيّيه J.H.Léveillé ، (1796 -1870) بالمساهمة الجيدة من الدرجة الأولى . في سنة 1836 اكتشف آشرسون في دراسة تتناول عدداً كبيراً من الفطور ، البازيد (والاسم وضعه ليفيّيه). ووصف خصائصها : انتاج اربع حقق ، ليست في أغشية ، بل فوق كراسي صغيرة خارجية ، وفي السنة التالية ظهر كتاب « ليفييه » حول الهيمينيوم ، وكان ثمرة اثني عشر عاماً من الجهد : وتم التعرف على فرع جديد لأول مرة : (« البازيديوسبوري) (بازيديوميسيت Basidiomycètes) و« تيكوسبوري » (اسكوميسيت) وتيكات ذات حقق داخلية لدى هذا الصنف الأخير ، وبازيدات ذات حقق خارجية لدى المصنف الأول . وبواسطة ليفييه Léveillé احتل علم الفطريات مكانته في التنظيم المنهجي .

ولكن الدفعة الحاصلة في فرنسا لم تكن معزولة ـ ففي بريطانيا كان لأعمال م. ج. بركلي حول « البازيد » أو الدعاميات ، كما كان في تشيكوسلوفاكيا لأعمال أ.ك. ج. كوردا Corda ، في الميكرومكوبيا ، تأثير كبير . لقد قام بركلي وكوردا بوصف آلاف الأنواع . وفي النصف الثاني من القرن تتابعت الأعمال حول العلوم الفطرية وخاصة حول الدعاميات (من قبل آل تولان Les Tulsane ، وباتويار Patouillard ، وفان تيغم) وحول الحقيات (من قبل آل تولان وي. بوديه E. Boudier) محققة تحسينات في التصنيف .

وفي سنة 1884 نشر آ. دي باري Bary (1831 -1888) تصنيفاً يتعلق بتوليد أصناف ، الفطريات ، وذلك في كتابه Vergleichende , Morphologie und Biologie der Pilze, Mycetozoen)

und Bakterien) وقد فرض نفسه بصورة مسبقة بصفته أحد أوائل علماء الفطريات في العصر ونشر كتاباً ذائع الصيت عنوانه : « المورفولوجيا ـ والفيزيولوجيا دربيلز ، وفلكشتن و ميكسوميستين » (1866- 1864) .

وفي أواخر القرن التاسع عشر وبفضل أعمال الفرنسيين « ل ـ كيلت Quélet » و« ن ـ باتويار Patouillard » ، والسويسري « ف. فايود Fayod» ارتدت منهجية الفطور العليا ، في سماتها الرئيسية ، الشكل الذي نعرفه لها في أيامنا .

الأشنات (Les Algues) .ـ لم يكن آ. ل. دوجيسيو A.L. de Jussieu يعرف إلا خمسة أنواع من الأشنات موزعة الى مجموعتين من ذوات فاقدات الحبوب : مثل البي سي (Byssus, Conferva, Tremella) والفوسي (Ulva, Fucus) . وبدأ علم تصنيف الأشنات حقاً بفضل أعمال الجينيفي ج.ب. فوشر J.P. Vaucher الذي نشر سنة (1803) (تاريخ فطريات المياه العذبة (الخُثْ الأخضر ـ طحلب المياه العذبة) . ورصد لأول مرة الأعضاء الذكرية والأنثوية في الإكتوسبارم (= فوشيريا DC ، 1805) . وفيما بعد ذلك بقليل تم التعرف على تشعب نوع الفوكوس بفضل ج. ستاكهوس J. Stackhouse الذي وزعها شُعَباً كثيرة سنة 1809 . ولكن بفضل بحوث الفرنسي لامورو (Lamouroux) تم اكتشاف الأقسام الكبرى الأولى . ففي كتاب هذا الأخير « بحث حول أنواع عائلة بالاسيوفيت غير المفصلة » (الطحالب البحرية) ، الذي نشر سنة 1813 ، عرض فيه تصنيفاً إجمالياً للتعرف على الطحالب السمراء التي سماها باري فايوفيسي Phaeophycées (1881) ، وعلى الطحالب الحمراء والطحالب الخضراء (كلوروفيسي ، عند ف.ت. كوترنغ ، 1845) ؛ فضلاً عن ذلك حدد عدداً كبيراً من الأنواع الجديدة التي حشرت تحت اسم فوكوس . والطحالب الزرقاء ، بصفتها مجموعة مستقلة ، لم تكتشف إلا سنة 1860 من قبل أ. ستيزنبرغر Stizenberger (سيانوفيسي عند ساش ، 1874 ؛ وشيزوفيسي Schizophycées عند ف. كوهن F. Cohn 1880) .

إن الميزات التي تتمتع بها بعض المجموعات الكبرى مثل الدينوفيسي ، أو الكريزو ـ والكزانتوفيسي لن يتم التعرف عليها الا بعد ذلك بكثير ، بعد دراسات ج. كليبس Klebs (1883 - 1884) ، وبعد دراسات أ. ورمنغ E. Warming (1890) ، ودراسات آ. انغلر (1892) ، وكتاب آخرون من القرن العشرين .

إن نظام لامورو كان أساساً لأعمال ش. آ. آغارد Agardh ، وأعمال و. هـ. هارفي (1836) . ويعود الفضل الى السويدي آغارد في وضع المصنفات الكبرى الأولى المخصصة للاشنات : انه عمل موسوعي يعالج كل الأنواع التي كانت معروفة يومئذٍ (مجلدان ، 800 ص ، 1828) ثم مصنف ضخم بعنوان « الأجناس ، الأشنات عمومياتها وخصوصياتها » (8 مجلدات ، 1848 -1901) .

ولا يمكن إلا التذكير ، وبشدة ، من جهة أخرى بأن التقدم السريع في المعارف المتعلقة بأمور الجنس ، وخاصة ابتداءً من اكتشاف التخصيب أو الإلقاح على يد تورت Thuret وبرنغشيم Pringsheim (1853 -1855) ، قد لعب دوراً أولياً في تطور علم التصنيف فيما خص هذه الأجسام .

الحزاز أو بهق الصخور Lichens .ـ عرفنا منذ أعمال باري Bary (1866) ، وس. شوندينر

Schwendener (1868) المؤكدة تجريبياً من قبل الفرنسي ج. بونيه G. Bonnier (1889) ان الحزاز هي أجسام مختلطة ، مكونة بالاتحاد الوثيق بين فطر (هو الخيط الفطري الذي لا لون له) واشنة أو طلحب (الغونيدي أو العناصر الكلوروفيلية) . ومنذ زمن طويل تعرف المتخصصون بعلم الحزاز ، من ناحية علم التخلق ، (مورفولوجيا) على هذين المكونين الأساسيين ، وقد تطور علم التصنيف دائماً ، بصورة مستقلة ، دون أن يكون للنظرية على هذا التصنيف أي تأثير ذي أهمية . فقد نشط التصنيف في أوروبا بفضل عدد كبير من العلماء ، يأتي في المرتبة الأولى بينهم السويدي اريك اشاريوس E. Acharius والسويدي أ. فرير ، وخاصة خصم عنيد لنظرية الطحالب الاشنلت هو الفنلندي وليم نيلندر Nylander ، الذي وصف أكثر من ثلاثة آلاف صنف جديد .

البريوفيت ـ والبتيريدوفيت .ـ يجب مرة أخرى ، وهنا قبل أي مكان آخر ، ذكر اسم ناجيلي وهوفمستر Hofmeister . انهما يرمزان ، في حوالي منتصف القرن ، الى مجموعة مدهشة من الأعمال حول الجنسانية والنمو ، عند الطحالب أو الحزازات (موس) وعند البتيرودوفيت ، وهي أعمال كان لها تطبيقات مهمة ورئيسية في علم التصنيف .

وفي علم الطحالب ، لم تكن هناك مشاكل منهجية مهمة على مستوى الأطر الأساسية : فقد اكتشف هدويغ وآ. ل. جوسيو المجموعتين : موس وكبديات. وركز ف. شمبر على خصوصيات السفينيات (Sphaignes) (1857) . وكان أكبر مصنف للحزازيات هو الألماني ج. ك. مولر الذي وصف الفين وأربع مئة صنفٍ من الطحالب وخمسة وعشرين صنفاً من السفينيات (Synopsis Muscorum) (1848 -1851 في مجلدين) وقامت أعمال موازية أدت الى وصف 1600صنف من الكبديات (ش. م غوتش C . M . Gottsche والمجموعة 1844 - 1847) .

لقد تطور علم البتيردولوجيا Ptéridologie أو علم كريبتوغام الانبوبي أو الوعائي بوتيرة مدهشة بخلال القرن التاسع عشر ، بالارتباط مع البحوث التشريحية والجنينية وعلم تحجر النباتات . وقد استبق القرن بأعمال مفيدة جداً . فقد فصل ج. ش. د. شريبر J.D.C. Schreber (1791) الليكوبود عن الموس لكي يدخلها في فصيلة البتيريدوفيت . وأبرز ج.ج. برنهاردي (1799) قيمة مجموعة من الصفات الجديدة تتعلق بكيس البوغ وغشائه . وأعطى نشر « تاريخ النباتات المتحجرة » (1828 -1837) على يد أ. د ، برونيارت ، مؤسس علم المتحجرات النباتية ، ونشر أعمال ج. هـ. ر. غوبرت (1836 -1841) للبحوث المتعلقة بعلم البتيريدولوجيا دفعة قوية .

إنها الحقبة (1836) التي ظهرت فيها كتب كلاسيكية ذات أهمية كبيرة منها : « الجامع النباتي » لاندليشر Endlicher ، ثم « Tentamen pteridographiae » بقلم ش.ب. برسل Presl . وكان نظام انذليشر ، بصورة مختصرة هو النظام الحديث : فقد كان التعبير التصنيفي عن أعمال ل. ش. ريشار (1803) الذي عرف المجموعات التي منها اذناب الخيل Equisetacées وأرجل الذئب Lycopodiacées ، وهناك أيضاً أعمال ش. ل. ويلدنيو Willdenow (1802) الذي لم تخف عليه وحدة الهيدروبتيريدي Hydroptéridées .وبفضل السرخسيات Filicinées توفرت لنا المجموعات الأربع التي قبل بها اندليشر . وأدخل برسل في التصنيف البتيريدولوجي مفاهيم مهمة لم يتم التعرف عليها إلا بعد ذلك بكثير .

إن الأعمـال قد تكـاثرت في النصف الثـاني من القرن . والتقـدم المنجز كـان مشهوداً بشكـل خاص . وقد ميز لـ . غوبـل Goebel ، وهو يـدرس نمو الأكيـاس البوغيـة بين فئتـين كبيرتين هما : اللبتوسبورانجيه ، حيث ينبثق الكيس أو الحق عن خلية وحيدة أساسية والاسبورانجيه ، حيث ينشأ الحق عن مجموعة من الخـلايا . فضـلاً عن ذلك ، أدت أعمـال علماء التخلق : بـاري ، سـاش ، ستراسبورجر ، فان تيغم ، جيفـري ، ش . ي . برتـران ، و . لينيه O. Lignier ، بعـد إضافتهـا الى أعمـال علماء النباتـات المتحجـرة أمثـال وليـامسـون Williamson ، ب . رينـولت هــ . بـوتـوني H. Potonié ، د . هــ . سكوت الخ ، الى وضع الأساس المتين للمعارف العصرية .

وأخيراً انتهى القرن مـع صدور المجلد المهم حـول مستورات الـزهرة الـوعائيـة (بتيريدوفيت Ptéridophytes) (1898 -1902) بفضـل انغلر وبرانت ، يـساعـدهما فـريق من المتخصصين وفيـه أربع طبقات مميزة : فيليكال ، سفينوفيلال ، ايكيسيتال ، ليكوبوديال ، ان لينيه Lignier هو الذي بيَّـن ، بعد ذلك بعدة سنوات الـوحدة البنيـوية بـين السفينوفيـلال والايكيسيتال ، وقـرر بالتـالي أحد أكبـر مجموعات التراشيوفيت .

III ـ الاستكشاف وعلم الأزهار

تماهى علم النبات في القرن التاسع عشر ، في قسم كبير منه مع استكشاف الكرة الأرضية ، إمّا بسبب ان علماء نباته الكبار ، سواء كان اسمهم همبولت ، هوكر ، براون ، آساغراي Asa Gray أو مارتيوس كانوا هم أيضاً رحالة مشهورين ، واما ان مستحضراته الأكثر أهمية ارتدت شكـل مشاريـع ضخمة من التحاليل ومن الأوصاف النباتية ، أمثال البساتين الكبرى البريطانيـة في الهند وفي افـريقيا الاستوائية .

ويجب أن لا ننسـى فضلاً عن ذلك أن الثورة البيولوجية الكبرى التي حدثت سنة 1859 انطلقت مباشرة من رحلات داروين ووالاس . هذا القرن المتميز بالحماس كشف عن النباتات الأكثر تنوعاً ، فوق القطب أو عند المنطقة الاستوائية ، وكشف عن الكائنات الأكثر غرابة مثل « رافليسيا سومطرة Le Rafflesia » ، وازهار قطرها متر واحد وتزن سبع كلغ ، و ولويتشيـا الهضاب العليـا . وكشف هذا القرن أيضاً عن مجمـوعة ممتـازة من العلماء ، وهم رجال مـدهشون بشجـاعتهم وصلابتهم ، رجـال ملاحم ، متسامون أحياناً ، أو عباقـرة بحق ، وفي أغلب الأحيان غـريبو الأطـوار أو سذج . إن آل ميشو ، وبوبنلان وجاكيمونت ، ورافينسك وباشيلوت ديلا بيلاي ، مكتفين بالفرنسيـين ، كانـوا من هؤلاء الرجال . ولا يمكننا إلا أن نقتصر على ذكر بعض الأسماء وبعض الانجازات . على أن نجمعها بحسب البلدان .

أميـركا . ـ ان اكتشـاف أميركـا الشماليـة ، وقد أوضحـه بشكـل خـاص ت . نـوتـال ، ود . دوغلاس ، وجون ماكون ، والفـرنسيون ش . س . رافينسك وف . ا . ميشـو F.A. Michaux ، وأ . دوران Durand ادى الى نشر دراسات وكتب عن النباتات جزئية . ولكن علم التصنيف وعلم النباتات الاميركيين كانا محكـومين بـأسماء جـون توري Torrey (1796 -1873) وآسـا غراي Asa Gray (1810 -

1888) . ويجب أيضاً أن نذكر ل. د. فون شوينيتز Schweinitz ، وش. هـ. بك Peck اللذين وصفا آلاف الفطور .

وكانت الرحلات الكبرى الى أميركا الجنوبية من صنع علماء أوروبيين : الأولى (1799 -1804) ، والأشهر ، هي رحلة آ فون همبولت ، وايمي بونبلان ، واهتمت بفنزويلا وكولومبيا والاكوادور والبيرو والمكسيك . وكانت النتائج خصبة بشكل عجيب ودونت في كتب ضخمة منها : بلانتا اكينوكسيال Planta Aequinoxiales (1809 -1813) ، ونوفا جنرا وسبسي بلانتاريوم Nova Genra et species Plantarum (سبع مجلدات بالتعاون مع ك. س. كونث K.S.Kunth) .

بين 1816 و1822 مكث الفرنسي آ. دي سانت هيلير Saint-Hilaire في البرازيل . وفيها شكل مجموعة مهمة من النباتات ، واستطاع أن يدون كتاباً عن نباتات البرازيل الهاجرية (ثلاثة مجلدات ، 1825 -1833) ؛ ولكن العمل الضخم قام به النباتي الألماني ك. ف. ب. فون مارتيوس Martius الذي وقعت رحلته الى البرازيل في نفس الحقبة مع سانت هيلير . إن كتابه « نباتات برازيلية » بدأت الكتابة به سنة 1829 بمعاونة مساعدين عديدين ، ولم تنته إلاّ سنة 1901 : ويتألف هذا الكتاب من 15 مجلداً ومن 3805 لوحات ويعالج 22 ألف نوع .

الى هذه الأسماء يضاف اسم الانكليزي ر. سبروس Spruce ، الذي صعد في مجرى الأمازون بين 1849 و1864 واليه يعود الفضل بإدخال زراعة شجرة الكينا الى الهند .

آسيا واستراليا .ـ هناك سلسلة طويلة من الأسماء يجب ذكرها بالنسبة الى آسيا . ولا يمكن أن نغفل أسماء و. روكسبورف Roxburgh الذي نشر كتاب فلورا انديكا (1820 -1824) ، وف. بوشانان Buchanan الذي قام بوصف مجموعاته د. دون Don (1825) ون. واليش وف. جاكمونت ، و ر. وايت ، و و. غريفيث وخاصة ج. د. هوكر الذي استكشف الهند مع ت. تومسون (1847 -1851) ونشر كتاب فلورا الهند البريطانية (1876 -1897) .

ويقترن اسم ش. ل. بلوم ، مدير البستان النباتي في بويتنزورغ (1822 -1826) باسم نباتات جاوا ، ويقترن اسم م. بلانكو بنباتات الفليبين ، واسم ر. فورتون ، الذي أدخل شجرة الكومكات (فورتونيلا) إلى أوروبا، أسماء ف.ـ ب . فوربس ، وآ . دافيد، وآ . هنري ، والروسيان آ فون بونج وب. ي. كيريلوف بنباتات الصين . واكتشف ش. ماكسيموفيتش ون. م. رجيفيلاسكي ، وخاصة ف. ل. كوماروف آسيا الوسطى والشمالية . واستكشف آ. كونهام وت. ميتشل ور. براون وف . ج . هـ . فون مولر استراليا . ويعود إلى الجنيفي أ . بواسيه الفضل في وضع كتاب ممتاز عن نباتات الشرق (5 مجلدات ، 1867 - 1884) .

افريقيا .ـ ربما كان استكشاف افريقيا أكثر بطئاً . ولكنه تسارع في النصف الثاني من القرن . إن رحلات و. ج. بورشل وف. م. ج. ولويتش ، وج. مان وج. كيرك ، وشونفورث الخ . . . كانت في أساس المجموعات الكبرى والتحاليل النباتية المتعددة . وكتب العديد من الكتب عن نباتات افريقيا قبل 1850، وخاصة نباتات أوارOware وبنين Bénin (1804-1807) بيد باليسوت دي بوفوا Palisot de

Beauvois ، ونباتات النيجر (1849) بيد هوكر وبانتام . ويجب أن نذكر كتاب « فلورا كابنسي Flora Capensis » (سبعة مجلدات ، 1859 -1865) لواضعه و. هـ. هارفي و. وسوندر، وبشكل خاص، كتاب Flora of tropical Africa الذي بدأ نشره سنة 1868 ، تحت إدارة د. اوليفر ، واستمر حتى سنة 1937 بإدارة د. برين D. Prain ثم تيسلتون ـ دير ، ولكنه بقي غير مكتمل .

وتناول الاستكشاف النباتي أيضاً افريقيا الشمالية فصدر كتاب « نباتات الجزائر وتونس »(1890 - 1895) ، وقد وضعه ج. آ. باتانديه وش. ل. ترابوت .

IV ـ جغرافية النباتات

إن جغرافية النباتات، حالها كحال متحجرات النباتات، وهو علم يبحث في توزيع وتاريخ النباتات، هما من مواليد القرن التاسع عشر . واكتشاف المتحجرات ثم تطور الاستكشاف ، وتقدم الدراسة المورفولوجية (التخليقية) والمنهجية لم تكن إلاّ لتؤدي إلى بزوغ هـذين العلمين ، وبالنهاية ، ابتداءً من سنة 1859 ، إلى فهم العلاقات بين الأنواع ووحدتها العميقة التي كشفتها الداروينية . وبينت النشرة الكبيرة ، التي أصدرها هـ. ليكوك بعنوان « حول الجغرافيا النباتية في أوروبا » (تسعة مجلدات، 1854-1858) والتي سبقت مباشرة كتاب « أصل الأنواع » ، إلى أي حد كان نضجُ الأفكار يومئذٍ ثابتاً . وقد سبق لليكوك ، بتشجيع من جيوفروا ـ سانت هيلر أن طرح كضرورة منطقية بالنسبة الى البيو ـ جغرافيا (أي علم الإحياء الجغرافي) تسلسل الأنواع .

وبعد 1790 تصور هامبولد دراسة حول الجغرافيا النباتية ثم ، حوالي نفس التاريخ (1792) نشر عالم النبات الألماني ش. ل .ويلدنوفC.L.Willdenow أول دراسة بارزة حول الموضوع . وكانت بنظره ، وبحق ، « تاريخاً للنباتات » ، تاريخ ما أصابها من تغيرات عبر الأحداث الجيولوجية ، وسلوكها تجاه المناخات والتربة ، وانتشارها فوق الكرة ، وهجراتها : ونجد عند ويلدنوف شروحات وأفكاراً مفيدة جداً ، منها شرح حول التآلف النباتي بين أميركا الشمالية وأوروبا القطبية ، أو بين منطقة رأس الرجاء الصالح واستراليا ، وشرحَ مقارنةِ التغير بين النباتات البرية والنباتات المغروسة ، باعتبار أن هذه الأخيرة قد أعطت العديد من الأنواع ، وشرح للكيفية التي تؤمن فيها النباتات لنفسها الحماية بحسب استقامتها وأسلوب حياتها . ويشير المؤلف الى امكانيتين لتفسير التآلف النباتي بين القارات المفصولة عن بعضها البعض : الخلق الآني للأنواع ، خلقاً يرتبط بتماهي البيئة ، أو انفصال القارات التي كانت في السابق ملتحمة . ولأول مرة اكتشف مساحات نباتية ، ووضع تعريفاً أولياً لها ، فقال بوجود خمس مناطق رئيسية في أوروبا (وكل مركز توزيع يتمثل بأعالي الجبال) : النباتات السويسرية ، نباتات الشمال ، نباتات النمسا ، نباتات جبال الأبينين ، نباتات جبال البيرينى .

وتلا عملَ ويلدنوف بحث طويل وضعه تريفيرانوس « حول توزيع الأجسام الحية فوق سطح الكرة الأرضية » ، ثم كتابُ هامبولد الشهير « بحث في جغرافية النباتات » (1807) وأعطى عمل هامبولد لهذا العلم الناشيء بعداً جديداً . وخصص مجلداً بحاله من هذا العمل الضخم « نوفاجينيرا وسباسي » للتوزيع الجغرافي للنباتات (1817) . كان هامبولد عبقرية قوية ، ذا انشاء فخم ، فمَسَحَ وَصَوَّرَ الطبيعة

الاستوائية بلوحات مدهشة لم تكن مساهمتها قليلة في إحياء الاتجاهات الجديدة نحو « النظر الى النباتات من خلال علاقات تجمعها الاقليمي في مختلف المناخات » وكذلك من خلال مظهرها الخارجي . ونحن مدينون له بشكل خاص انه أبرز مفهوم الخطوط التحاررية (أي مناطق الحرارة المتماثلة) ، هذا المفهوم الذي أدى أكبر الخدمات للجغرافيا . وبذات الحقبة كان روبرت براون الشهير يتخصص في بحوث من نفس النوع حول نباتات « الأراضي الجنوبية » محاولاً فهم توزيع العائلات ووضع العلاقات النسبية بين أنواعها المختلفة في مختلف القارات .

وأخيراً أدت أعمال هؤلاء الرواد ، الذين يضاف اليهم أوغوست ب. دي كاندول وميربل ، الى الانجازات الدقيقة حيث تم وضع القوانين والتقنيات ، وحيث تحددت المفاهيم ومنها أعمال ج. ف. شُو J.F. Schouw (من سنة 1816 الى سنة 1823) وأعمال ج. د. هوكر (1844, 1853, 1859 ...) وأعمال آسا غراي (1859) ، وأعمال الفونس دي كاندول (1855) ، وأعمال آ. غريزيباش (ابتداءً من سنة 1845) . ان الوقائع والمشاكل المثارة في منتصف القرن كانت ضخمة الى درجة أن « الجغرافية النباتية » لكاندول لم تتضمن أقل من 1365 صفحة . وفي سنة 1883 فتح كاندول في كتابه « أصل النباتات المغروسة » فصلاً جديداً في البحث الذي بدا خصباً بشكل خاص .

وابتداءً من سنة 1870 تطورت الجغرافية النباتية بشكل مفاجيء . ونشر غريزيباش سنة 1872 كتاباً بقي كلاسيكياً عنوانه : Die Vegetation der Erde . وفيه وصف نباتات الأرض بالوسائل التي كانت يومئذٍ محدودة جداً والتي قدمها له علم ذلك الزمان ، وأعطى تصْنيفاً نباتياً على المستوى العالمي . إن عمل غريزيباش قبل كل شيء هو مورفولوجيا تقارن بين أنواع المزروعات في علاقاتها مع المناخات .

وبعدها جاءت أعمال انغلر Engler الأولى والكبرى وذلك من خلال سلسلة كاملة من المذكرات والدراسات ، وخاصة تركيبة فخمة حول تاريخ تطور النبات (1878 -1880) . وأعطت هذه الأعمال مكانة ضخمة للتاريخ الجيولوجي . وكان للدراسة النباتية الجغرافية (فيتوجيرغرافيا) الوصفية التي وضعها هـ. كريست حول « نباتات سويسرا وأصولها » (1882) تأثير كبير . وانتهى القرن مع الكتب الكبرى التي وضعها و. درود O. Drude (1890) وخاصة التي وضعها ج. ي. ب. وارمنغ J.E.B. Warming (1895) والتي وضعها آ. ف.و.شمبر A.F.W. Schimper (1898) . الذين فتحوا الطريق أمام علم اثر البيئة على الكائنات الحية (ايكولوجيا) ، هذه الكتب التي وضعت منعطفاً حقاً ، تعبر عن المنحى الفكري الجديد في البحوث التي جرت بحماس بخلال الربع الأخير من القرن من قبل رجال امثال ج. فسك J. Vesque (1878) وج.بونيه Bonnier . G وش . فلاهوت Ch. Flahault (1879) ، وس. شوندينر S. Schwendener وج. فولكنز G. Volkens وج. هابرلانت G. Haberlandt وغيرهم . وليس من قبيل المصادفة الخالية من المعنى أن تكون الكتب الأولى الكبرى حول المناخات الأرضية قد ظهرت سنة 1887 (آ. ويكوف A. Woeikoff) وسنة 1897 (ج . هان) (J. Hann) : إن علم البيئة (ايكولوجيا) سوف يكون علم القرن العشرين .

V ـ المؤسسات (المنظمات) والأجهزة الأساسية

من أجل الاجابة على النمو الضخم الذي ارتداه علم النبات ، وعلى الاستكشاف ، والنمو الذي ترجم بالتزايد غير المنقطع للمجموعات والنشرات ـ عدداً وحجماً ـ كان من الواجب وجود تحول عميق وتجدد واتساع في المؤسسات وفي التنظيمات التقليدية للعلوم الطبيعية . وطيلة القرن ، كان الانشغال ، بوضع هيكلية تحتية ملائمة للعلم السائر الى الأمام ، مما يتيح ازدهاره ، دائم الظهور .

المتاحف والجنائن .ـ لم يكن يكفي كبار علماء التصنيف والجغرافية النباتية أن يتحمسوا بأنفسهم للقيام بالرحلات العلمية ، فأرادوا أن يعطوا للاستكشاف النتائج التي يجب أن يقدمها وبالتالي ، وفي أغلب الأحيان اقترنت أسماؤهم إما بتطوير ، وإما بإنشاء ، وإما بإدارة الجنائن النباتية ، وإما بوضع الكتب النباتية الكبرى . كان أوغوست ب. دي كاندول ، وم. تروب ، و و.ج. هوكر ، ون.ل. بريتون وس. ش. سارجنت ، بآنٍ واحدٍ المدراءَ الأولين لجنائن جنيف (1817) وبويتنزورغ Buitenzorg (جاوا ، 1817) ، وكيو Kew (أعيد تنظيمها سنة 1841) وسانت لويس (ميسوري بوتانيكل غاردن Missouri Botanical Garden، 1859) ونيويورك (1891) . وتعود مجموعات كبرى عديدة في نباتات العالم الى القرن التاسع عشر ، منها « غري هرباريوم Gray Herbarum » في جامعة هارفارد (1864) ثم « ارنولد أربورتم Arnold Arboretum » (1872) ، ثم كتاب النبات الوطني في ملبورن (1857) ، ومنها مجموعات أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا (1812) ، وزوريخ (1834) ، وبروكسل (1870) ، وآبردين (1860) ، الخ .

الجمعيات الدورية والمؤتمرات .ـ ان العلم هو دولي وجماعي ، منذ أن يتثبت ، فيتخذ سنداً في تنظيم وفي جملة من الاتفاقيات تكرس وحدته . من ذلك كانت حال علم النبات بخلال القرن التاسع عشر : فقد حلت مسائل التعبير ، والنقل والنقاش والرقابة على العلم ، بصورة تدريجية . وتكاثرت الجمعيات والنشرات الدورية وغيرها . ونظمت المؤتمرات الدولية الأولى . واللائحة سوف تكون طويلة بأسماء المجلات التي أسست بخلال القرن التاسع عشر ؛ والعديد منها بقي بعد أن غير أسماءه حتى أيامنا : « اكتا هورتي بتروبوليتاني ، Acta Horti petropolitana » (سان بترسبورغ 1871) ، « محفوظات الميزيوم » ، (باريس ، 1802) ، حوليات العلوم الطبيعية (1824) Beihefte Botanisches centrablatt (1891) ، بوتانيش جهاربوشر Botanische Jahrbücher (1880 ، ليبزغ) ، نشرة كيو (1887) ، انطلاقة الجمعية اللينية [نسبة الى العالم ليني] اللندنية (1838) ، رودورا (بوسطن ، 1899) ، الخ . ولن تكون لائحة الجمعيات أقل طولاً : أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا (1812) ، الجمعية اللينية في نورماندي (1823) ، ري سوسيتي (1844) ، الجمعية النباتية في فرنسا (1854) ، الجمعية الملكية النباتية البلجيكية (1862) ، دوتش بوتانيش جيزل شافت (1882) ، الخ

وعلى نفس النسق حصل الاهتمام وبقناعة كبيرة ، من أجل تعريف وتنسيق المناهج واللغة ، ووضع قانون بالمصطلحات ، كما تم وضع معاجم وفهارس للاستعمال الكوني الشامل . وفي آخر القرن التاسع عشر كان التنظيم بادياً للعيان . واعتبر نشر دليل كيونسيس Index Kewensis ـ وهو

مجموعة من أربعة أقسام (1893 -1895) (كان له فيها بعد اثنا عشر ملحقاً إضافياً سنة 1959) تتضمن كل أسماء الأنواع والأصناف من النباتات ذات الأزهار ، نشرت منذ ليني ـ حقبة مهمة بشكل خاص في هذا السبيل . وقد سبق في سنة 1821 نشر أول دليل ، مفيد جداً على يد ي . ج . ستودل E.G. Steudel تحت اسم « المصطلحات النباتية » وكان له طبعة أخرى سنة 1840 . ومنذ مطلع القرن ظهرت الحاجة الى وضع قواعد شاملة تحكم مصطلحات الأنواع والأصناف وغيرها من فئات تصنيفات النباتات . وظهرت الحاجة أيضاً الى وجوب توحيد المناهج ثم التمكين من الرقابة على النتائج : وكل هذه الاهتمامات تم التعبير عنها وتوضحت بشكل موسع في الكتاب : « النظرية الأولية » الذي وضعه أوغست ب . دي كاندول سنة 1813 . ولكنه كان عمل رجل واحد : وكان بالامكان قبوله أو رفضه . وفي سنة 1867 طرحت المسألة أمام جمعية من العلماء اجتمعت في باريس وسميت « أول مؤتمر دولي » . وفيه اقترح كاندول نصاً يتعلق بقوانين التصنيف . وفي الواقع لم يكن التفاهم الدولي سهل التطبيق . كما أن التفاهم لم يحصل في المؤتمر الدولي الثالث (فيينا 1905) . . . ولم يحصل هذا التفاهم إلا بعد ربع قرن من الزمن .

الفصل الرابع

باستور وعلم الميكروبات الحياتية (ميكروبولوجيا)

من بين الوجوه الكبرى في البيولوجيا في القرن التاسع عشر كان وجه وشخصية لويس باستور Pasteur (1822 -1895) . وقد احتل مكانة لا نظير لها بفضل أصالة مناهجه وسلوكها المثالي ، وبفضل أهمية اكتشافاته ونتائجها . فقد كشف واستكشف عالماً بيولوجياً كاملاً ظل مجهولاً حتى ذلك الحين ، وهو عالم الميكروبات . كما أثبت أهمية هذا العالم على صعيد النظرية والتطبيق، وأزال الأوهام وابتدع تقنيات جديدة ذات أهميات رئيسية في مجال العلم الخالص وتطبيقاته ، وفي حياة البشرية . وقد أظهر وكشف أمام عقولنا مظاهر أساسية ومجهولة في الطبيعة . وابتكر وسائل جديدة وقوية عملياً لاستخدام القوى . لقد غير في الطب .

هذا على الرغم من أنه لم يكن بحكم تربيته لا بيولوجياً ولا طبياً . والجدة في عمله كانت بحيث انها اصطدمت أحياناً بمعارضات شبيهة بتلك التي لقيها في القرن السابع عشر وليم هارفي ، وفي القرن التاسع عشر شارل داروين .

سنة 1843 دخل لويس باستور الى مدرسة المعلمين العليا ، فقام سريعاً ببحوث ناشطة في مجال الكيمياء وعلم التبلر Cristallographie . وكانت مسألة « الاختلاف النصفي » في بلورات الخل (تارترات) التي وقف أمامها ميتشرليك قد أتاحت له الحصول ، منذ 1848 ، على نتائج مدهشة (راجع أيضاً حول هذه المسألة دراسة ج . أورسل في الفصل I من من القسم الرابع ودراسة ج . جاك في الفقرة II من الفصل VII من القسم الثالث) .

الاختلاف النصفي(L'hemiédrie) والحياة .ـ بين أولاً ان هذا الاختلاف النصفي ذو علاقة مباشرة باتجاه الانحراف الذي يمارسه محلول هذه البلورات على الضوء المكثف . ومن هنا استنتج مفهوم « عكس التناظر » الخلوي ، وأسس فصلاً جديداً في الفيزياء والكيمياء انبثقت عنه فيما بعد الكيمياء التضخمية (الستيربوكيميا) أو الكيمياء المجسمة . يوجد في هذا المجال تشكيلان من

الخليات (تارترات) عكسية التناظر ، تعمل بأشكال متعارضة في الضوء المستقطب أو المكثف وذلك بافتعال انحرافه نحو اليمين أو نحو اليسار . ومزجُ هاتين التشكيلتين بنسب متساوية لا يثير أي انحراف . ولكن باستور عرف أن أجساماً دنيا تتغذى من التارترات فلا تستهلك إلا واحدة من التشكيلتين وتبقى الأخرى سليمة . وهكذا بدت له الخلية الحية كمختبر للقوى غير التناظرية . ودرس هذه المسائل من سنة 1849 الى سنة 1853 ، وهي السنوات التي كان فيها يعلم في كلية العلوم في ستراسبورغ .

التخميرات ـ في سنة 1854 نُقل باستور الى الكلية الجديدة للعلوم في ليل ، حيث طلب منه الصناعيون أن يصحح لهم مخالفات التخمير الكحولي ، المطبق حتى ذلك الحين بشكل تجريبي بواسطة خميرة البيرة . وكان هناك نظريتان متعارضتان تفسران هذا التخمير : نظرية برزيليوس Berzelius ونظرية ليبيغ Liebig . ولاحظ باستور وهو يدرس شذوذات التخمير الكحولي تشكل الأسيد لاكتيك ، وتبين أن تشكل هذا الأسيد ذو علاقة بوجود مادة تظهر في الأوعية بشكل بقع رمادية . وعند تفحص هذه المادة بواسطة الميكروسكوب تبين أنها تتألف من خلايا صغيرة عرف فيها باستور أجساماً حية . والقليل من هذه المادة إذا أضيف الى المستحلب المغلي من الخميرة المطعمة بالسكر وبالطبشور ، كان كافياً لإطلاق التخمير اللاكتيكي المنتظم والثابت ، المقترن بتكاثر جسم معين ثم تغذيته على حساب مادة قابلة للتخمير هي السكر ، وينتج عن هذه التغذية بقية من الأسيد لاكتيك (حامض لبني) .

هذا المفهوم الجديد وسعه باستور فاشمله حالات أخرى . إن كل تخمر يبدو وكأنه متولد عن مفعول خميرة خاصة .

وللحصول على تخميرات جيدة كحولية وصناعية يكفي كما يقول باستور : « أن يكون لدينا خميرة نقية متجانسة تنمو براحة وحرية بواسطة غذاء مناسب لطبيعتها الذاتية . وهكذا بدا التخمر مرتبطاً بالحياة وبتنظيم الخلايا ، لا بموتها أو فسادها » (مذكرة حول التخمر الكحولي 3 آب 1857) .

وقبل باستور سنة 1680 كان ليونهوك Leeuwenhoek قد لاحظ في الميكروسكوب خلايا خميرة البيرة ، وفي سنة 1835 تعرف كانيار دي لاتور Cagniard de Latour ، بفضل التحسينات على الميكروسكوب ، على التكاثر عن طريق التبرعم ، واستنتج أن الخميرة هي كائن حي « يؤدي زرعها ، احتمالاً ، الى تصاعد الأسيد كربونيك والكحول » . وهذا التفسير ، الصادر بذات الوقت في ألمانيا عن ت. شوان Th. Schwann وكوتزنغ Kützing قد خُنق بفعل نظريات ليبيغ Liebig .

ودرس باستور بالمقارنة وبدقة التخمير الكحولي وحصل عليه عندما زرع أثراً لا يذكر من الخميرة في عصير لا يحتوي إلاّ على السكر والأملاح المعدنية المتبلرة . وتكاثرت فيه الخميرة على حساب مكونات العصير ، لتشكل خلايا . وإذاً لم يكن الأمر مجرد فعل تماس كما زعم برزيليوس ، ولا كان تفككاً عفوياً في المادة المتماسكة كما أراد ليبيغ .

وهكذا تم حل سر التخميرات ، وبدا التفسير لها عاماً ، إذ توصل باستور الى تفسير تخمير آخر

فتح له آفاقاً جديدة ، وهو التخمير الذي يولد الأسيد بوتيريك Butyrique (أو حامض الزبدة النتن) .

هنا كانت الخميرة متحركة ، وبدت منتمية الى المملكة الحيوانية في حين أنها كانت في الواقع كائناً نباتياً : « ذباً » (بكتيريا قوسية) . هذه الخميرة تتمتع بخصوصية ذاتية هي أنها لا تنمو الا بمعزل عن الأوكسجين . وهكذا تكشف أسلوب جديد للحياة أطلق عليه اسم « آنايرو بيوز » (حياة اللاهوائيات) وفيها يأخذ الجسم الحي الأوكسجين في حالة تركيبية في حين أنه لا يستطيع التعايش مع الأوكسجين الحر . إن الخميرة تستطيع العيش مع وجود الأوكسجين ومع غيابه . ولكنها لا تخمر إلا عند غياب الأوكسجين في حين أنها عند ملامسة الهواء تحرق السكر تماماً دون أن تحدث كحولاً . فالتخمر إذاً ، بالنسبة اليها أيضاً هو حياة بدون هواء . وفي حالة الذب الحمضي تكون الحياة بدون أوكسجين ضرورة مطلقة ، وتكون نتيجته ظاهرة تافهة من شأنها أن تفسر فساد التخمر أي الاهتراء الذي يعيد جثث الكائنات الحية الى الفضاء والى المملكة المعدنية .

هذه الاكتشافات التي حققها باستور سوف يكون لها عواقب آنية مباشرة ورئيسية . وهي سوف تحول في الصناعات المقننة ممارسات كانت تطبق تجريبياً ، وبممارات عشوائية : ان صنع الخل الذي ينتج عن أثر خميرة خاصة هي ميكودرما آسيتي على الكحول ، وصنع البيرة سوف يتجدد أيضاً . أما أمراض الخمور فبدت أيضاً وكأنها من صنع خمائر معينة ، ويمكن تفاديها بالقضاء على هذه الخمائر بواسطة التدفئة المنظمة بمعدل 50 درجة مئوية ، وهذه العملية أطلق عليها اسم البسترة (أي التعقيم على طريقة باستور) . ونفس النتيجة تحصل فيها خص حفظ الحليب بالتعقيم .

التولد الذاتي génération spontanée (الابتداع) وقيام علم البكتيريا (باكتيرولوجي) . - في سنة 1857 عاد باستور الى باريس لكي يعلم في مدرسة المعلمين العليا فواجه مسائل جديدة .

إن المسألة القديمة مسألة التولد الذاتي Génération spontanée التي حلها مؤقتاً ، في القرن الثامن عشر ، سبالانزاني ، قد أثيرت من جديد من قبل عالم طبيعي من مدينة روان اسمه آ. بوشي Pouchet الذي زعم أنه أثبت صحتها بالتجربة (الاختلاف عن الأصل أو كتاب « التولد الذاتي الآني المباشر » باريس ، 1859) . ونظمت أكاديمية العلوم حول هذه المسألة مسابقة تحت رقابتها . وشارك فيها باستور ودحض مزاعم بوشي . وتكلل بحثه بالنجاح سنة 1861 . وأثبت أن مزاعم التولد الذاتي (الخلق من العدم ، كيميائياً) ما هي إلا وليدة تلوث السوائل بلقاح من الهواء . وأنشأ بهذه المناسبة تقنيات بسيطة لتفادي هذا التلوث أو لاستحداثه في لحظة معينة . وولدت هذه الوسائل التقنيات البكتيرولوجية لتعقيم أماكن الزرع . وما تزال بالونات معقمة من قبل باستور ، معقمة حتى الآن بعد مرور حوالى قرن . وفي هواء نقي خال من الجراثيم ينعدم التلوث . واثبت باستور ذلك بتجارب أجراها فوق جبل مونتنفير ، فوق بحر « الجليد » . ومن أصل عشرين بالوناً معقماً ، فتحت فيها بعد في ذلك المكان ، بقي تسعة عشر بالوناً معقماً .

ورد خصومه وهم بوشي Pouchet وجولي Joly وموسي Musset أبطال التولد الذاتي، بتجربة مماثلة أجروها في مغلي التبن فوق قمة مالاداتا في جبال البيرينيه ، وهنا تنامت البكتيريا . ولكنهم رفضوا

إجراء تجارب تثبتية مع باستور . وبعد اثنتي عشرة سنة ، في سنة 1876 ، ثار الجدال من جديد مع الانكليزي باستيان ، وفي هذه المرة أجرى باستور مع معاونيه جوبرت وشمبرلان ، نقاشاً تجريبياً دحض تماماً أطروحة باستيان . إن نمو الجراثيم الذي لحظه باستيان ، وقبله بوشي وتابعوه ، قد فسر . إنها جرثومة خفية « باسيلوس سوبتيليس » ونموها يعود إلى جيوب من هذا الكائن تقاوم حرارة غليان الماء (مئة درجة) المستعملة للتعقيم الموضعي . ولكن هذه الجيوب تموت بالتسخين تحت الضغط في درجة حرارة 120 أو 130 درجة مئوية .

إن تجارب الدحض التي أجراها باستور ، ومزاعم بوشي وباستيان لم تستبعد فقط مزاعم التولد الذاتي ، بل أوجدت تقنيات التعقيم لأماكن الزرع وولدت علماً جديداً ذا أهمية نظرية وعملية أولية هو علم البكتيريا (باكتورولوجي) .

أمراض دودة الحرير .ـ في هذه السنوات 1860 كانت تربية دودة الحرير في جنوب فرنسا قد قضي عليها بفعل مرض خفي يصيب هذه الحشرات اسمه البيرين Pébrine . وبناءً على طلب من ج ـ ب.دوماس انصرف باستور الى درس معمق للمسألة وبين ان هذا المرض ذو علاقة مع وجود جسيمات خاصة في أنسجة هذه الدودة (وقد أشار الايطالي كورناغليا الى هذه الجسيمات) والتي يعثر عليها في بويضات الاناث الملوثة (وقد كشف علم الزوولوجيا فيما بعد ، أن جسيمات البيرين هي أغشية لجرثومة ميكروسبوريدي تنتمي لمجموعة كيسية سبوروزوير ، تم التعرف عليها فيما بعد) . وبعد الفحص الميكروسكوبي للأنسجة المطحونة للاناث ، ثم عزل بويضات كل الاناث الملوثة بهذه الجسيمات من أجل الزرع وعندها ، بعد أخذ الحيطة المناسبة أثناء الزرع ، تم القضاء على المرض بصورة جذرية . واكتشف باستور بذات الوقت مرضاً آخر لدودة الحرير اسمه فلاشيريا ، ويعزى الى انتشار بكتيريا في الأمعاء ، وأتاحت هذه الملاحظة توضيح منشأ الأمراض المعدية بوجه عام .

مساهمة سابق : أوغسطينو باسي Agostino Bassi .ـ من الجدير بالذكر القول بأن مرضاً آخر لدودة الحرير (القز) اسمه الموسكاردين ، كان في السابق موضوع دراسة معمقة من قبل باحث ميكروبي هاوٍ ايطالي اسمه أوغسطينو باسي (1773 -1856) الذي نجح في اثبات أن هذا المرض يأتي من فطر طفيلي ميكروسكوبي . كما أوضح عدة تدابير تتيح انتشاره Del mal Del segno calcinaccio o) muscardino مجلدان ، لودي ، 1835 -1836 وملخصه الفرنسي بعنوان : حول الموسكاردين ، باريس 1836). وقد مجد باستور عمل سابقه :

« نحن نعرف ، منذ سنة 1835 ، من خلال البحوث الدقيقة التي قام بها البروفوسور باسي ، من بلدة لودي ، والمؤكدة بتجارب أودوين ، ان هذا المرض يجب أن يعزى الى تنامي ـ داخل الدودة أو العذراء (نغفة) ـ طفيلي نباتي اسمه « بوتريتيس باسيانا » ، تمجيداً للعالم باسي الذي قام لأول مرة بوصفه ، وعرف عن آثاره السيئة » . (لويس باستور ، دراسات حول مرض دودة الحرير ، باريس ، 1870 ، مجلد 1) .

هذا الاكتشاف لفطر طفيلي ميكروسكوبي المثبت منذ 1837 من قبل ج ـ ف ـ أودوين ، أثار عدة بحوث أدت بشكل خاص الى اكتشاف «آكوريون شونليني » Schönlein (شونلين ، 1839 ؛ غروبي

Gruby ، 1841) ؛ وهي جرثومة مسؤولة عن مرض القرع البشري . ولكن باسي في دراسته أصدر فكرة بأن أسباب غالبية الأمراض المعدية تعود الى جسيمات ميكروسكوبية . هذه النظرية التي لم يستطع باسي لسوء حظه اثباتها من خلال ملاحظاته ، استلمها وطورها سنة 1840 ، في كتابه « باتولوجيا سوشونجن Pathologische untersuchungen» المشرح والبيولوجي الألماني جاكوب هينل ، صديق شوان ، والمعلم مستقبلاً للعالم ر. كوخ Koch . أوضح هينل بشكل خاص القواعد التجريبية التي من شأنها تبيين أن عاملاً ميكروسكوبياً معيناً هو في أساس المرض . وهذه القواعد استعملها فيما بعد ر. كوخ في دراساته حول مرض الفحم .

هذه الوقائع التي ظلت لمدة طويلة غير معترف بها من قبل مؤرخي البيولوجيا تدل على أن آ. باسي كان الطليعي في علم البكتيريا .

ومع ذلك فقد وجهت بحوثه حول أمراض دودة الحرير ، عقل باستور ، بشكل حاسم نحو الأمراض المعدية ، وامكانية تدخل الجراثيم الملوثة في انتشارها .

دور الميكروبات في الأمراض المعدية عند الحيوانات والانسان . ـ في ذلك الحين تقدمت الدراسة الميكروسكوبية للكائنات الدنيا ، الذبات ، والعصيات الخ . واكتشف العالم النباتي الألماني ف. كوهن الأكياس أو الأغشية التي عثر عليها باستور في حالة الذب البوتيري وفي حال الفلاشيري . وتعرف المراقبون الكثيرون على وجود بكتيريا في بعض الأمراض المعدية مثل : (بيمي ؛ نفريت مقيح ، الحمى النفاسية والجروح الصديدية) . وفي سنة 1873 لاحظ أوبرمير Obermeier وجود ميكروب « سبيروشيت » لدى المرضى المصابين بالحمى الراجعة . ولكن الأطباء رفضوا أن يروا فيها السبب الفعلي لهذه الأمراض . ومنذ 1867 اهتم باستور بهذه الأمراض فزار مستشفى فالديغراس Val-de-Grace واطلع على الفيزيولوجيا بحضوره محاضرات كلود برنار في كوليج دي فرانس .

وتم اكتشافٌ مهم سنة 1850 من قبل الطبيب والزوولوجي ك . دافين C. Davaine (1812-1882)، هو اكتشاف جسيمات صغيرة خيطية (ذكرها بولندر سنة 1849) تعيش في دم الحيوانات (وخاصة الخرفان) المصابة بمرض الفحم . وفي ما بعد ، وبناءً على مذكرة من باستور حول « الحييوينات التي تعيش بدون أوكسجين حر وتحدث التخمرات » (1861) ، اكتشف دافين في هذه الجسيمات التي سماها « بكتيريا الفحم » أسباب مرض الفحم . ولكنه لم يستطع بشكل حاسم دحض الاعتراضات التي تصدت لطرحه . في هذه الأثناء ومنذ 1865 ، استنتج الجراح الايكوسي جوزيف ليستر ، (1827 - 1912) ، النتائج من وجود جراثيم في الجروح المتقيحة وعكف على التغلب عليها بواسطة تقنية جديدة هي تقنية التطهير « انتيسبسي » التي أحدثت تجديداً وتوسيعاً مدهشاً في عالم الجراحة .

وبعد 1870 اتجه باستور بحزم نحو دراسة الأمراض المعدية ، باعتبارها مسببة بفعل الجراثيم الميكروبية الضارة التي تدخل الى الجسم . ولم يكن ذلك إلا ليصدم الروتين الطبي ، بل وأيضاً بعض المفكرين المجددين أمثال العلماء الألمان فيرشو ، وهلمولتز وبواريمون ، الذين بدت في نظرهم فرضية تدخل الجراثيم الضارة مشوبة بالاحيائية والذين كانوا يفتشون عن حلول لهذه المسألة تدخل في نطاق الفيزياء الكيمائية . وكانت أكاديمية الطب في باريس حيث كان باستور عضواً منتخباً فيها سنة 1872 ،

مسرحاً لنقاش عنيد جعله يصطدم بالاطباء التقليديين الذين لم يستطيعوا تقبل الفكرة بأن الحقيقة في الطب هي ملك الكيميائي .

الإنجاز الطبي عند باستور ـ لقد حقق باستور ثورة حقيقية في الطب وذلك عندما أجرى تجاربه على الحيوانات بشكل خصب وأصالة مخصصين عموماً ومحكورين على سنوات الشباب ، كما استعمل المنهج التجريبي الدقيق الذي يدل عليه كل انتاجه .

أ ـ مرض الفحم .ـ ان مرض الفحم كان فرصته لتحقيق أول نجاح في المجال الطبي . وقد استعان بمعاونين منهم جوبرت وشامبرلان واميل رو Joubert، Chamberland، E. Roux وبأعمال سابقيه أمثال دافين وكوخ Davaine et Koch . وكان هذا الأخير قد أتم دراسة دقيقة حول البكتيريا الفحمية (باسيلوس أنترامسيس)،. من أجل التعرف على كيس أو حق هذه البكتيريا ، ومن أجل توضيح ظروف تكونها (1876) . وعندما حقق باستور زراعة بكتيريا الفحم في النقيع ، بيّن بأن بكتيريا الفحم بالذات هي العامل الضار وليس السائل الذي زرعت فيه (1877) . وبين أنه بعد موت الحيوان تموت البكتيريا بسرعة داخل الدم حيث تنتشر ذُبَّاتُ التفكك والاهتراء . ودحض بالتالي اعتراضاً قدمه أمام دافين كل من لبلات وجايار Leplat et Jaillard . وقدم أيضاً لشروط تلوث الحيوانات فرضيةً مهمة وذلك حين بيّن أن هذا التلوث يحصل « في حقول ملعونة » ، حيث كانت في السابق قد دفنت حيوانات مريضة بمرض الفحم ، كما يحصل عن طريق سلح دودة الأرض التي تعيد الى السطح أكياس البكتيريا الفحمية . وزرع تربة هذا السلح تحت جلد حيوان مختبري تحدث فيه مرض الفحم . والخرفان تتلوث من خلال الجروح في شفاهها ، عندما تقضم الأعشاب في الحقول الملوثة .

ب ـ كوليرا الدجاج .ـ درس باستور بذات الوقت كوليرا الدجاج فتوصل عرضاً الى اكتشاف مهم هو تلطيف وتخفيف الفيروس ، وبالتالي تلطيف أو تخفيض فيروس اللقاح (1880) .

إن فيروس الكوليرا الدجاجية هو ميكروكوك (بكتيريا) تزرع بسهولة في مرق الدجاج عند الدرجة 37 مئوية . وإدخال هذا المرق في جسم الدجاجة يحدث فيها حتماً المرض المميت . وأوقفت العطلة الصيفية تجارب باستور . وعند العودة عاد باستور الى تجاربه ، فلاحظ أن الدجاجات « الملقحة » بلقاح قديم كان مرضها خفيفاً استطاعت الشفاء منه . وبعد أن أدخل في جسم هذه الدجاجات التي شفيت كمية مميتة من زرع جديد ، لاحظ أنها تقاوم المرض . لقد اكتسبت مناعة بفضل المرض الخفيف الذي أصابها في السابق . وكان في هذا ما يعادل التلقيح أو التطعيم الجينيري (نسبة الى العالم إدوارجنر Jenner) ضد الجُدَري . وبالمقابل نجح باستور في إعطاء الفيروس الملطفة لسعتها الأولى بأن مررها بصورة متتالية عبر عدة دجاجات ، وهكذا يكون بالإمكان ، بفضل هذا الأسلوب ، تغير خصائص الجراثيم الملوثة بشكل إرادي ، ثم تلطيفها أو إثارة حدتها ، وأخيراً استخلاص اللقاح منها .

ج ـ التلقيح الفحمي .ـ طبق باستور في الحال هذه التقنية على مرض الفحم ، وقد تم التلطيف هنا بزراعة البكتيريا الفحمية في درجات حرارة مرتفعة (42 -43 درجة مئوية) مما منع حصول أكياس ،

وخفف من حدة المرض . وقاومت الحيوانات الملقحة بهذه الفيروسات الملطفة ، وأصبحت ذات مناعة ضد التلقيح المميت أو ضد الاصابات المميتة .

وأحدث الاعلان عن هذه النتائج المختلفة هزة حملت الجمعية الزراعية في ميلون الى القيام بتجربة علنية مثيرة وذلك في مزرعة Pouilly-Le-Fort .تم تلقيح خمسة وعشرين حَمَلاً وفقاً للطريقة الموصوفة أعلاه . وبعدها حقنت هذه الحيوانات بزرع عادي حادٍ . ولقحت خمسة وعشرون أخرى باللقاح القوي فقط . وتم التلقيح الأخير في 31 أيار 1881. وفي الثاني من حزيران وبناءً على الموعد المحدد من قبل باستور ، للاطباء البيطريين وللجمهور ، تمت مشاهدة جثث الخرفان الشهود في حين أن الخرفان الخمسة والعشرين الملقحة ، بقيت حية وبحالة طبيعية . وسرعان ما انتشر هذا التلقيح ضد مرض الفحم في العالم كله .

د ـ الكَلَب .ـ إن الإنجاز الكبير والأخير الذي حققه باستور كان التلقيح ضد مرض الكَلَب ، وهو مرض مأساوي مميت ، ناتج عن عضة كَلب . وكانت فيروس الكَلَب خفية لم يُعثر عليها إلاّ حديثاً بفضل الميكروسكوب الالكتروني . والكَلَب مرض معدٍ ، سببه جرثومة تدخلها عضة الكَلب . وتظهر أعراض المرض على الجهاز العصبي ، فخطر لباستور أن يستخدم المراكز العصبية كمكان زرع ، وذلك بحقن النخاع بعد عملية حج (ثقب) عظم الجمجمة ، بمادة مأخوذة من النخاع الشوكي من حيوان مكلوب . وعاونه أ. رو E. Roux ، فتوصل بالتالي الى نقل المرض الى الكَلِب . واستطاع أيضاً تحفيز حدة سُمِّيَةِ هذا الفيروس بنقله عدة مرات إلى أرانب . وكان يسترشد بتجاربه حول كوليرا الدجاج وحول مرض الفحم ، فتوصل إلى تلطيف الفيروس بترك حبال شوكية ملوثة تجف في الهواء . وخفت حدة الفيروس مع الزمن وزالت بعد أربعة عشر يوماً . وتحملتْ الكلاب بدون ضرر اللقاحات المتتالية التي عمرها 14 ، 13 ، 12 يوماً ، الخ . إلى أن تم التوصل الى اللقاحات الأكثر قوة وحدة . وهكذا أمكن تمنيع هذه الكلاب بشكل جذري ثم تمكينها من مقاومة التلقيح والعض الأكثر شدة .

ويبقى تطبيق هذه الطريقة على الانسان . وتردد باستور طويلاً في إجراء هذه التجربة . وأخيراً قرر تنفيذ التجربة ، ونجحت نجاحاً كاملاً في تموز سنة 1885 على شاب من الالزاس اسمه جوزيف ميستر Joseph Meister .

هذا النجاح أحدث دوياً ضخماً وكانت له ردات فعل عملية رئيسية . فحتى ذلك الحين لم يكن تحت تصرف باستور إلاّ موارد مادية تافهة جداً ، ومختبر متواضع جداً في مدرسة دار المعلمين . وأُجري اكتتابٌ دولي بعد نجاح التلقيح ضد الكلب ، مما أتاح بناء مؤسسة باستور التي افتتحت في تشرين الأول سنة 1888 . وإذا كان عمل باستور الشخصي قد انتهى ، مع الأسف ، فإن سلسلة طويلة من التلاميذ أمثال أ. دوكلو E. Duclaux وأ. رو E. Roux وآ. ييرسين A. Yersin وآ. كالمات A. Calmette وأ. مشنيكوف Metchnikov ون . غامالي N. Gamaleia وغيرهم ، تولت مواصلة العمل . ومنذ أكثر من سبعين عاماً لعبت مؤسسة باستور ، التي وُسعت بشكل ضخم ، كما لعب غيرها من المراكز المتنوعة والمشابهة ، في مختلف البلدان ، دوراً كبيراً في تقدم البيولوجيا والطب التجريبي .

وأصاب باستور سنة 1868 مرض خطير في صحته فتركه نصف مشلول دون أن يمنعه من مواصلة

الاكتشافات . وانطفأت شعلته سنة 1895 .

يعتبر باستور مؤسس علم البكتيريا (bactérologie) التجريبية ، وقد كشف عن الدور المهم الذي تلعبه الميكروبات الجُسَيْمية الأولى والبدائية ، وقد ثوّر بالتالي الطب ، والجراحة والعديد من الصناعات . ويعتبر إنجازه مرحلة رئيسية في معرفة الطبيعة وقواها ، المسخرة لخدمة الانسان .

الفصل الخامس

الفيزيولوجيا النباتية
(علم وظائف الأعضاء في النباتات)

ولدت الفيزيولوجيا النباتية على أثر أعمال قام بها لافوازييه Lavoisier بخلال القرن التاسع عشر. إن المعارف المستحدثة مجدداً، والحاجة الملحة دائماً الى تحسين الزراعة، وعبقرية بعض الرجال قادت بصورة تدريجية الى اكتشاف مشاكل الفيزيولوجيا ومناهجها، والى تحديدها بدقة متزايدة، وأخيراً الى ترتيبها ضمن فئات تم التنسيق فيها بينها. ولكن القرن التاسع عشر لم يعرف، كما يقال، التخصصات التي أصبحت شأناً من شؤون عصرنا الحاضر. بين 1800 -1840 ظهرت الأعمال المهمة التي قام بها سوسور Soussure وديتروشه Dutrochet. ثم جاء ليبيغ Liebig وبعده بوسنغولت Boussingault وساش Sachs وبفيفر Pfeffer وغيرهم. ويمثل هؤلاء الرجال وحدهم تقريباً الفيزيولوجيا النباتية في القرن التاسع عشر. فقد كانوا المفكرين والمهندسين في مختلف شُعبها.

I ـ تيودور دي سوسور وتغذية النباتات

حالة المسألة في بداية القرن. ـ في سنة 1804 عندما نشر تيودور دي سوسور كتابه «بحوث كيميائية حول الزرع» كان الغموض الكبير سائداً في الأفكار المتعلقة بغذاء النباتات. وكان أرسطو ومن بعده المحافظ الكبير أوليفيه دي سار Olivier de Serres مسيطرين بعمق على الرأي العام عند الزراع وعلماء النبات. ودليل ذلك، البيان الذي أورده موريس Maurice في كتابه «مطول في الأسمدة» (1806). ولم يُطلب الى برنار باليسي Bernard Palissy، بآرائه العميقة، الضمان بل طُلب الى «أبي الزراعة الحديثة» ذلك: «ان الروث هو الذي يُفرح ويُدفىء ويُسمد ويُطري ويُلطف ويضبط، ويلين الأراضي المتعبة بفعل العمل المرهق . . .» هذه هي أقوال هذا الأخير. وظل هذا القول مقبولاً حتى في سنة 1806.

وكان ج.ب. فان هلمونت J.B. Van Helmont (1652)، ور. بويل R. Boyle و. دوهاميل دي

مونسو Duhamel du Monceau وجان . ج . فالريوس J.G. Wallerius (1761) قد أدخلوا المعتقد ، الذي ما يزال سائداً حتى الآن ، ومفاده أن الماء وحده يكفي لتغذية النبتة ، وهذا الموقف أصبح غير ملائم اطلاقاً بعد الأعمال التي قام بها لافوازيه وبرستلي Priestley وانجنهوس Ingenhousz وسينيبيه Senebier . وسرعان ما دخلت الفكرة ، مع هاسن فراتز Hassenfratz (1792)، ومفادها أن جسمين ، وجسمين فقط يجتمعان من أجل تغذية النبتة : الماء وهواء الفضاء . وانضم جان سينبييه Senebier بنفسه إلى هذا الرأي الذي كان شائعاً في الحقبة التي كان فيها سوسور Saussure يقوم بأعماله .

ويعتقد أيضاً أن الكربون يمكن أن يتم امتصاصه انطلاقاً من الغاز ـ كربونيك الموجود في ماء التربة . والحقيقة أنهم كانوا في صميم الافتراضات . وكل مؤلف كان يبني الرواية على هواه . ولم يكن الاتفاق سائداً بقوة إلاّ حول نقطتين :

1 ـ ان الأملاح إما أن تكون سموماً أو انها عارية من كل طاقة غذائية .
2 ـ إنّ الأسمدة ، التي عرفت فضيلتها ، تلعب دوراً غير مباشر وغير أساسي ، حمائياً أو ميكانيكياً .

والترميد والتحليل (وهما طريقتان مستعملتان منذ ف. ريدي F. Redi ، 1650) أثبتا وجود أجسام معدنية وغيرها في أنسجة النباتات ، وهذا الوجود لا يمكن عزوه الى المركب ماء ، هواء ، وحده . ومع ذلك لم يكن أحد ليتحرج من ذلك . وإثارة موضوع مبدأ حيوي ذاتي وخاص في « عمل الإنبات » كانت تكفي لتهدئة الأفكار . إن مفهوم التغذية السائد في إطار الفكرة « المسبقة » لا يمكن إلاّ أن يؤدي الى القول بداهة بهذه « القوة الحيوية » . وقد لجأ إليها علماء في الطبيعة مشهورون أمثال بونيه Bonnet ودوهاميل Duhamel . فالتربة والأملاح الموجودة في النباتات تنتج عن نقل المياه : هذا هو قول فالريوسWallerius . وبعد نصف قرن كانوا يفكرون نفس التفكير أو ما يشبه ذلك .

واستطراداً مع فكرة هذه الحيوية الشهيرة ، ساد الاعتقاد بأن الهوموس Humus أو التربة المتأتية من تحلل النباتات ، لا يمكن أن تكون من منشأ معدني فهي تَتفرع من الماء بدون شك ، في رأي فالريوس Wallerius ، ولكنها ، بفعل ما تقدمه من « مادة دهنية » تلعب دوراً مباشراً في التغذية ، والأملاح التي تحتويها ليست إلاّ عوارض من حيث وجودها ومحفزات من حيث مفعولها . في سنة 1810 دعم آ. د. A.D. Thaer نظرية تنتسب الى هذه الحيوية بالذات . وفي سنة 1835 رعى تريفيرانوس Treviranus طرحاً كان فالريوس قد انتحله منذ عهد قريب . واستمر بعضهم يعتقد مع أرسطو أن النبتة تستمد من التربة الغذاء الجاهز الخالص « بابولم فيتا » «Pabulum vitae» وهو غذاء وُلِدَ مع ولادة الكون : إنه شكل آخر من أشكال الحيوية ذاتها .

منهج سوسور .ـ في هذا المناخ من الجهل والتخلي ، والاسترسال مع المعجزة قام سوسور ببحوثه . لا شك أنه كان يرتكز على نقط ارتكاز قوية. لقد تعرف برتوليت ، بعد اكتشافات لافوازيه ، على المكونات الأساسية للمادة الحية : كربون ، هدروجين ، أوكسجين ، آزوت . ومنذ 1793 ، أعلن لافوازيه تصوراً ملهماً لمبادىء التغذية عند النباتات : ان هذه « تستمد من الهواء المحيط بها ومن الماء ، وعلى العموم من المملكة الحيوانية ، المواد الضرورية لتركيبها » . وقام برستلي وانجنهوس وسينبييه

(Senebier) بإصدار ملاحظات حاسمة ، ومع سوسور طلع النهار فوق الأفق كله . فاختار بثقة حازمة وكاملة الطريق «الوعرة والمتعبة» طريق رجل العلم ، الطريق التي تستبعد كل منهج لا يرتكز على التجربة ، وكل حكم لا يستند بشكل مطلق على العقل . وكانت عبقريته قائمة على التمسك بهذا الموقف الصائب النظري ، ثم تجسيده في الواقع العملي . ان احترام الحقيقة ، أو الخوف من التأكيد المجاني حملاه على وضع جداول بالتحليلات العديدة ، ثم بنشرها حتى يمكن الحكم على الظروف التي عمل بخلالها ، وعند الضرورة ، إعادة إجراء تجاربه الخاصة . وهذا الجهد في وضع ميزانيات حول التغذية ، لم يبتكر شيئاً إلا طريقة التحليل الكمي (المطبقة في الكيمياء بفضل لافوازيه) والتي أصبحت كلاسيكية فيما بعد .

النتائج الحاصلة .ـ توصل سوسور (وهو يستعمل لأول مرة النظام المتري) الى استخلاص سلسلة كاملة من الأحداث الأساسية :

1 ـ قال برتوليت وآخرون بأن النباتات تفكك الماء وتأخذ عناصره . وأثبت سوسور ذلك بالتجربة ، وبشكل ايجابي في عصره .

2 ـ لاحظ بريستلي أن النباتات الخضراء ذات خاصية تمكنها من تنقية الهواء الملوث عن طريق الاشتعال أو الحرق (الكلوروفيلي) . وبين انجنهوس وسينبييه ان الأوراق الخضراء تحلل الغاز كربونيك لتأخذ منه الكربون وتطلق الأوكسجين . وأثبتا أيضاً أن هذا العمل يتم بالتعرض للشمس ، وان هذه تعمل لا بحرارتها بل بنورها . وبناء على تجارب عديدة ودقيقة قدم سوسور البرهان على وجود وظيفة أساسية ، وان النباتات الخضراء لا تأخذ الكربون إلا من الغاز الكربونيك الموجود في الهواء . ومن جهة أخرى توصل الى الاستنتاج أن تثبيت الكربون من قبل النبتة يقترن باستخدام أوكسجين الماء وقسم(1) من الأوكسجين الناتج عن تفكك الغاز كربونيك (والقسم الآخر يتحرر) كما يقترن بزيادة في الوزن . وهكذا تم توضيح العلاقات بين تمثل عناصر الماء وتمثل الكربون .

3 ـ وفيما خص الأزوت بدا سوسور أكثر تحفظاً ولكنه أثبت أيضاً أن هذا العنصر يأتي من محاليل في التربة ، وهو حدث مهم في زمن ساد فيه الظن بأن النبتة تمتص آزوتها من الهواء .

4 ـ وأقام عملاً كاملاً ، وأساسياً بشكل مطلق ، فيما يتعلق بالهوموس (أو التربة العضوية) وبالأملاح المعدنية .

وقدم في البداية تعريفاً للهوموس أو التربة العضوية ، قريباً من تعريفنا : انها مادة سوداء ناتجة عن تحلل النباتات تحت تأثير مزدوج من الأوكسجين والماء . وهو مصدر للكربون بفضل التأكسد ، كما أنه مصدر للآزوت . وهو مادة لا تذوب في الماء ، ولكنها مزودة بفعل الأملاح التي تحتويها ، بقدرة على التخصيب . وأضاف أن الهوموس ، يحتوي رماده على كل خصائص رماد النباتات . وبين أن العناصر المعدنية تلعب دوراً أساسياً ، وأن كميتها الضعيفة في النبتة ليست إطلاقاً مؤشراً على عدم الفائدة . واكتشف كيفية تسرب هذه العناصر ، تسرّب يتم في حالة الذوبان . وأوضح الخصائص المتعددة لهذه

(1) نعرف اليوم أن الأوكسجين المحرر يتأتى من الماء ، وليس من تفكك الغاز كربونيك .

العناصر المعدنية ومنها : ميوعة محلولاتها ، انعدام القدرة الانتقائية عند مستوى الجذور ، تغير سرعة الامتصاص تبعاً لنوعية الأملاح ، علاقة نسبية بين التركيب أو كمية الرماد من جهة ، ومن جهة أخرى نوعية النبات ، وظروف المكان ، والعضو المعتبر ، ومرحلة تطوره (وبعض الملاحظات المعلنة بهذه المناسبة الأخيرة لم تتأكد إلا بعد مرور قرن من الزمن على يد ماكالوم) . وفي كل مرة كان يجهد في إعطاء الوقائع المقررة بفضل تجاربه تفسيرات فيزيائية كيميائية : وعلى هذا كان يتذرع بالسيولة وباللزوجة لتفسير التسرب . واعتقد من جهة أخرى أن الأوراق تلعب في التغذية المعدنية ، وبمقدار بسيط ، دوراً يشبه دور الجذور (فالعناصر الترابية المعلقة في الهواء تستقر على النبتة ، وتحلل في ماء التكثف) . (ودلت أعمال حديثة ، 1955 ، استعملت الايزوتوب المشع أن تسرب العناصر المعدنية يتم أيضاً عبر الأوراق والجذوع ، ومن هنا أهمية رش السماد على الأوراق الجاري أحياناً) . ومع العمل الذي قام به سوسور توضحت مسائل التغذية بشكل مدهش . إن النبتة الخضراء تأخذ تقريباً كامل احتياجاتها من الفضاء ومن الماء (كربون ، هيدروجين ، أوكسجين) . أما الأزوت والأملاح المعدنية فتأخذها الشجرة مذوبة من ماء التربة . وهذه الأخيرة ، وان بكميات ضعيفة ، لها تأثير قوي على النمو . هناك امكنة ثلاثة تتدخل الماء والفضاء والتربة

II ـ نظرية التنفس (التنفس التخمري والتحول التخميري : دياستاز)

تنفس النباتات ـ في سنة 1777 اكتشف لافوازيه عملية التنفس عند الحيوانات . وفيما بعد بقليل (1779) بين انجنهوس إن النباتات (بأزهارها وجذورها) تلوث الهواء المحيط ، وهذا في الليل وفي النهار . وهذا الحدث أكد عليه هوبرت سنة 1801 في ما خص الحبوب في حالة التفريخ . ومن جهة أخرى ذكر لامارك في كتابه « نباتات فرنسا » (1778) وجود سخونة عجيبة في الاغريض (البرعم بعد استطالته) الناضج لنبتة « آروم ايطاليا » . وقد أثارت هذه الظاهرة انتباه سينبيه (1800) الذي اشتبه بأن السبب هو اندماج الأوكسجين بالكربون . ولكن سوسور ، منذ سنة 1804 ، وبعدها في مذكراته العائدة لسنة 1822 و1833 ، هو الذي عالج مسألة التنفس عند النباتات ، ودرسها لأول مرة ، ومطولاً عبر تجارب عدة . وتكشفت هذه الوظيفة في بعض سماتها الأساسية : وبعدها تبين أن الحياة الليلية للنباتات الخضراء مقرونة بإعطاء الغاز كربونيك وامتصاص الأوكسجين مع إفراز ماء (حدث جديد) ، ومع انتاج حرارة . وتبين أيضاً أن الحبوب في حالة البرعمة تتنفس ليلاً نهاراً . واعتقد سوسور ، بدون أن يثبت ذلك ، أن تنفس النباتات الخضراء يستمر أيضاً في الضوء .

ونعرف منذ غريشو (1819) ، ان المبادلات الغازية فيما يتعلق بالفطور لا تختلف في شيء عن المبادلات التي تتميز بها الحيوانات .

في سنة 1836 استطاع دوتروشي أن يبين بقوة « ان التنفس هو وظيفة من ذات الطبيعة عند النباتات وعند الحيوانات ، وانه لا يختلف لدى هاتين الطبقتين من الكائنات الا بظواهر ثانوية عارضة » . وبيَّن بشكل خاص وجود علاقة بين حركة النباتات ووجود الأوكسجين . وتمت خطوة كبيرة باتجاه مماثلة التنفس عند النباتات بالتنفس عند الحيوانات . ومع ذلك فالنظرية لم تتركز . فقد

استمروا يخلطون بين وظيفتين مختلفتين ومتعارضتين ، ولكنهما ، في النهار تتراكمان : من جهة هناك تمثل الكربون (في النباتات الخضراء) ومصدره الغاز كربونيك الموجود في الهواء ، ومن جهة أخرى هناك التنفس . واعتبرهما سوسور مظهرين لعملية واحدة ، وسماهما الشهيق الليلي والزفير النهاري . وتكلم دوتروشي عن أسلوب طبيعي عادي في التنفس في الضوء ، وفيه تحرر النبتة الأوكسجين الذي تحتاجه من جهة أخرى، كما تكلم عن أسلوب إضافي ملحق (في الليل) .

وفي سنة 1847 اكتشف ش. لوري بوضوح بالغ مرتبتين من الظواهر : 1 ـ الظواهر التي تتم تحت تأثير الضوء في الأقسام الخضراء ، وهي عمليات تفاعلية حقيقية اختزالية ترافق تثبيت الكربون وامتصاص الحرارة . 2 ـ « الظواهر التي تقترب من الظواهر الكيميائية في تنفس الحيوانات . . . » . وللأسف ، لم يتم التعرف على استمرارية الظاهرة في هذه الحالة الأخيرة . وحدة التبرعم والتزهير دلا على تصاعد الحرارة « التي لها ذات المنشأ الذي للحرارة الحيوانية » .

وبقيت مسافة قليلة يجب اجتيازها للوصول الى الاكتشاف الكبير الذي حققه الصيدلاني غارو Garreau ، الذي قرر بناء على تجارب دقيقة (1850 -1851) ، أولاً استقلالية الوظيفتين ، وثانياً استمرارية العمل التنفسي وشموله كل أجزاء النبتة . وأصبحت المماثلة مع التنفس الحيواني ثابتة بعد الآن ، وبعد نصف قرن من الجهود . وكان من الواجب أن تقنع هذه النتيجة المنتظرة بشوق ، والتي توصل اليها بآن واحد موهل (1851) وغارو ، العلماء المعاصرين . ولكن شيئاً من هذا لم يحدث . أليس من المعبر أن نجد ـ مقروناً بنص غارو في حوليات العلوم الطبيعية ، ملاحظة من التحرير (أ. د. برونيارت وج. ديكين) تعارض ازدواجية الظاهرتين المعنيتين ، وتظهرها « كتمييز لفظي أو في الكلمات » . هذا التمييز لم يقبل عموماً إلا أعمال الفيزيولوجي الألماني الكبير جوليوس ساش(1832 - 1897) . في كتابه الشهير « لربوش در بوتانيك Lehrbuch der Botanik » (طبعة ثالثة ، 1873) ، أعلن هذا الكاتب بوضوح المفهوم (الميكانيكي الخالص) الذي توصل اليه في القرن التاسع عشر . فمنذ ليبيغ (1840) ، لم يعد هناك جدل حول أن الحرارة الحيوانية هي ببساطة حصيلة تفاعل فيزيائي كيميائي . ان التنفس عند النباتات يشبه تماماً التنفس عند الحيوانات : إنه احتراق بطيء ، مستمر ، داخل كل الأنسجة . امتصاص الأوكسجين ، وتشكل مقارن للغاز كربونيك وللماء ، وتحرير للطاقة الحرارية (المتحركة) تلك هي المظاهر الأكثر بروزاً . هـذا التنفس يرتبط بحركة البروتوبلاسم ، وبالنمو ، ويقترن دائماً بإتلاف وتحطيم الأطعمة (شحوم وهيدرات الفحم) .

هذه النتائج تلحظ مرحلة انطلاقاً منها تموضعت المسائل على الصعيد الفيزيولوجي العام ، ووراء عملية مبالغ في تبسيطها قليلاً . وبسرعة قصوى ، وفي الربع الأخير من القرن التاسع عشر ، بدت نظرية التنفس ـ الاحتراق ـ التي توضح تماما النتائج الاجمالية للوظيفة ـ غير ملائمة إطلاقاً لعدد كبير من الطروحات المستقرة ، فيما يتعلق بالحيوانات أولاً ثم فيما يتعلق بالنباتات ثانياً . وحام الشك حول عملية ذات تعقيد كبير ، ورفض كلود برنارد لفظة احتراق ، واستطاع بحق الكلام عن « معادل للاحتراق » ونعرف الآن أن الأوكسجين الحر لا يلعب أي دور مباشر في أكسدة الخلايا العضوية وأنه يتدخل فقط في المرحلة النهائية (المسماة دورة كربس) بعد سلسلة طويلة من التفاعلات اللاهوائية

ولكن هذه الفكرة العظيمة المتعلقة برابطة التنفس بالتخمر لها جذورها العميقة في القرن التاسع عشر (كلود برنار ، 1876 ، كان يرى في عملية التنفس « نوعاً من التخمر ») ؛ وهو قرن نرى فيه تيارات البحث المتعلقة بكل من هاتين الظاهرتين تسير جنباً الى جنب لتلتقي أخيراً ثم تتطور لتصل الى المفهوم الحديث .

التخمرات ـ كانت التخمرات معروفة منذ زمن بعيد ، ولكن ابتداء من سنة 1861 ، وبفضل أعمال باستور، تمّت الاكتشافات الأساسية بشأنها (حول هذه المسألة تراجع دراسة ج . جاك ، الفصل VII القسم III، ودراسة م . كوليري ، الفصل السابق). في سنة 1835 -1837 ، اكتشف كانيار دي لاتور تكاثر الحبيبات أو الفقاقيع في خميرة البيرة : انها كائن حي إذاً . هـذا الحدث المهم وجه باستـور . وظن برتيلوت سنة 1858 أن التخمر الكحولي يجب أن ينتج عن فعل دياستاز تفرزه الخميرة . إنها فكـرة لم تنضج ولا شك ، ولذا لم يكن لها الا القليل من الصدى : وقد حاول باستور عبثـاً التوصـل الى هذا « الدياستاز » ، ولكنه بيّـن أن التخمر هو دائماً من فعل كائنات حية ، وانه يحدث بغياب الأوكسجين . « إنه الحياة بدون هواء » . ومفهومنا الحاضر ، أكثر اتسـاعاً ، ويشمـل أيضاً نمط التخمـر الأسيتيكي الذي يحدث في الهواء . إلا أن الجدة العظيمة في الاكتشـاف لم تغب عن أحد . فقد كانت تتضمن نتائج ضخمة عملية ونظرية . إن التخمر الكحولي يعود بالتالي الى تأكسد غير كـامل يصيب الغلوسيـدات وسببه كائنات حية هي الخمـائر (الفـطور الزقيـة) في أماكن ينعـدم فيها الهـواء (مع تشكـل كحول وآنيدريد كربونيك) . ولاقت هذه النظرية معارضة شديدة .

الدياستاز أو الأنزيمات ـ لحظ الكيميائي الألماني بوكنـر Buchner مرحلة جـديدة في البحـوث المتعلقة بالتخمير . في سنة 1897 تـوصل هـذا العالم الى استخـراج عصير انـزيمي معقد سمـاه سيماز Zymase وذلك من عصائر الخمائـر المطحـونة والمكبـوسة ، وفيـها بعد عـزلت مكونـات هذا الأنـزيم ودُرست . وبمفعوله تم الحصول في المختبر (في بيئـة مصطنعـة) على تحـويل الغلوكـوز الى كحول . وتـسجلت دراسة هذا السـيماز ضمن سلسلة من الأعمال شكل مجموعها علم الأنزيمات . ومنذ 1814 بيّـن كيرشوف Kirchhof ان الشعير النابت يؤثر تأثيراً مـساعداً فيحول النشاء الى غلوكوز . وتفسير هذه الواقعة قدمه لبايان Payen وبرسوز Persoz (1833) اللذان عزلا ، من ملطة ، الشعير دياستـازا . وهذا الاسم الذي أطلقاه على هذه المادة الجديدة ما يزال يُستعمل اضافة الى اسم انزيم ومُخمر . وطيلة القرن تتالت اكتشافات الدياستازات : منها ايمولسين Emulsine (ليبيغ ، 1837) ، ليباز (كلود برنار 1849 ، بيلوز Pelouz ، 1855) ، سكاراز (برتيلوت) لاكاز وتيروسيناز (ج . برنار ، 1895 -1896) ، الخ . وقامت أعمال على الصعيد البنيوي أو الوظيفي بزخم شديد ؛ ومنذ 1898 تم اكتشاف مفهوم الارتدادية في العمل الدياستازي (كروفت ـ هيل Croft-Hill) .

التنفس اللاهوائي ـ في سنة 1875 جذب الزيوفيزيولوجي (عالم فيزيولـوجيا الحيـوان) فلوجر Pflüger الانتباه الى واقعة مفادها أنه في غياب الأوكسجين تستمر التفككات التي هي في منشأ التنفس الحيواني . ان التنفس عبر الخلية بحسب تعبير بفيفر Pfeffer (1878 -1885) ـ الذي اطلق هذه التسمية على العملية المؤدية الى انتاج الانيدريد كربونيك في الأنسجة الحية من نبتة في موضع معـدوم الهواء

هذا التنفس سبق ولوحظ في الماضي (رولو ، 1798 ؛ سوسور 1804 ؛ بيرار ، 1821) ، ولكن مع عدم وجود ضمانات تجريبية . وهناك تجربة بقيت شهيرة قام بها الكيميائيان الفرنسيان لوشارتيه Lechartier وبللامي Bellamy ، سنة 1869 . وأعيد إجراؤها عدة مرات(باستور،1872 ؛مونتزMuntz، 1878) ، وحُسنت (مازي Mazé 1900 ، ماتروشو Matruchot ومولیار Molliard ، 1903 ، مولیار 1907) . وبينت هذه التجربة ـ بعد تفسيرها تفسيراً صحيحاً فيما بعد ـ ان التخمر الكحولي هو ظاهرة عامة وان الخلايا الأكثر تنوعاً في الفانيروغام (Phanérogames) خاصة الأغنى بمادة السكر ، تدخل في التخمر إن حافظنا على أعضاء النبتة ، وحتى على مجموعها ، في فضاء محبوس : هناك انتاج للكحول وللأندريد كربونيك بفضل الغليكوز المحروم من الهواء . وهذا المفهوم الرئيسي قد قوي ، منذ 1903 ، بفضل أعمال ستوكلازا Stoklaza وتشرني Czerny اللذين أثبتا وجود السيماز في أنسجة النباتات المتنوعة وحتى في أنسجة الحيوانات . وابتداء من سنة 1888 ، أدى نشر دراسات بالادين ودراسات كوستيشيف خاصة الى حدوث تصور وحدوي ، وهو تصورٌ يرى وجود علاقات وثيقة بين التفاعليات التي تجري في الهواء أو بدون هواء في عملية التنفس .

III ـ دوتروشي مؤسس الفيزيولوجيا العامة

بعد سوسور ارتدت البحوث الفيزيولوجية نشاطاً حاداً على يد الطبيب والعالم الطبيعي الفرنسي هـ. دوتروشي Dutrochet ، بآن واحد على الصعيد النظري وفي مجال الوقائع المحددة . كان دوتروشي ضد النظرية الحيوية عن قناعة ، فطوَّر مفهوماً وحدوياً للطبيعة العضوية والمعدنية ، الطبيعة التي اعتبرت محكومة بقوانين فيزيائية ـ كيميائية من نمط واحد وحيد . وفي سنة 1837 أكد دوتروشي ، بعد لاميتيريه La Métherie على وجود فيزيولوجيا واحدة ، وهو علم عام يتناول وظائف الكائنات الحية ، وكان يأمل ، بحسب تعابيره بالذات ان تتيح محاولاته الأولى قيام « علم جديد هو الفيزيولوجيا العامة » ذات يوم .

وبفضل أحد الاكتشافات الأكثر بروزاً في العصر ، هو اكتشاف الامتصاص أو الاوسموز (1827) ، وبفضل تطبيقات مكتشفة في دراسة المظاهر الحيوية المتنوعة غير المفسرة حتى ذلك الحين ، ظهرت أعمال دوتروشي أمام الانتباه العام . والواقع فتحت هذه الأعمال آفاقاً واسعة أمام الفيزيولوجيا وبذات الوقت انفتح حقل جديد أمام فراسة الفيزيائيين . لقد لاحظ دوتروشي ما يلي :

1 ـ ان بعض الأغشية العضوية تتميز بتمرير الماء النقي عبرها وتوقف الخلايا المذابة في السائل

2 ـ اذا وجد محلولان قابلان للإندماج ومختلفان من حيث التركيب ، وتفصل بينهما مثل هذه الغشاوة المسماة نصف نفاذة، يقوم تيار مائي (تيار الأوسموز الداخلي) بين السائل الأقل تركيزاً نحو السائل الأكثر تركيزاً . والشروط التي عمل ضمنها دوتروشي لم تتح له بلوغ دقة كبيرة . فالأغشية التي استخدمها لم تكن نصف نفاذة الا بالمعنى الواسع ، أما النفاذ الداخلي فقد كان يلاقي معارضة من التيار النفاذي الخارجي . وبفضل التجارب المتكررة ، ضمن شروط محددة ، ومختلفة كل مرة ، حاول دوتروشي أن يستخلص جوهر العملية . وصنع اوسمو ـ متراً أو مقياساً للنفاذ حتى

يستطيع قياس الضغط النفاذي. وخطرت له فكرة جهاز أكثر كمالاً وفيه تكون الأغشية غير عضوية ومن نوعية عالية . وخطرت له أيضاً فكرة مقارنة الـ.بة بمقياس النفاذ (أوسمو ـ متر) واستنتج من هذه الواقعة عنصر تفسير متعلق بالدوران وبصعود النسغ عند النباتات . ولا شك أنه أخطأ في عدد من النقط ، ولكننا نجد في مذكرات دوتروشي بدايات مسالك سوف تتميز بها أعمال بفيفر Pfeffer وأعمال هـ. دي فري H. de Vries وأعمال فانت هوف Van't Hoff وأعمال آرهينيوس Arrhenius . وبعد نصف قرن من الزمن نجح بفيفر في بناء مقياس نفاذ مكون من غشاء من الصلصال مبطن بفيلم من السيانور الحديد النحاسي ، واستطاع القيام بقياسات ووضع معطيات دقيقة حول ظاهرات النفاذ أو الأوسموز . ودرس هـ. دي فري حوالى 1883 ـ 1885 الخلية لكونها معيار نفاذ ، فحقق السلسلة الجميلة من أعماله حول البلاسموليز Plasmolyse [أو انقباض البروتوبلاسما عند انقطاعها عن الغشاء الخلوي] واستعمال الخلية كمقياس نفاذ بيولوجي . وأخيراً أعلن الفيزيائيان فانت هوف (1884) وآرهينيوس قوانين النفاذ وتوصلا الى طريقة بسيطة ودقيقة للقياس عن طريق ما يسمى بالكريومتري Cryométrie أو التحارر القرّي . (راجع بهذا الشأن دراسة ج . جالك الفصل VII من القسم III).

IV ـ بنية الماء

الامتصاص ، التجول ، التعرّق . ـ يلعب الماء دوراً رئيسياً في حياة النباتات . فهو مكوّن أساسي في البروتوبلاسم ، التي هي المكان الذي تحدث فيه التفاعلات الميتابولية أي الأيضية ، كما أنه عنصر انتفاخ وتورم أو احتقان ، وهو أي الماء ، وسيلة نقل الأملاح وغيرها من المستحضرات .

وبعد اكتشاف الأوسموز سنة 1826 أتاحت المعارف المجتمعة ، النظر ، من خلال قواعد مقبولة بصورة جزئية ، إلى أهم المسائل المتعلقة بالماء : الامتصاص ، التجول ، التعرق . والواقع لم تنجح جهود دوتروشي إلاّ نصف نجاح . فقد دلت محاضرة الفونس دي كاندول (1835) على مدى الغموض المحيط يومئذٍ بهذا القسم من العلم . فقد كانوا يتكلمون ، كما في القرن السابع عشر ، عن حركات تمعجية وتقبضات حيوية . وركز بيرام والفونس دي كاندول على القوة الحيوية . فهذه القوة ـ لا القوى الفيزيائية ، والقوى الثانوية مثل الأوسموز ومثل العملية الشعرية ـ هي التي تتدخل بصورة أساسية في صعود النسغ ، وربما أيضاً في عملية الامتصاص (نظرية العملية الاسفنجية) . وظنّا بأن الأوعية لا تلعب أي دور ذي قيمة في نقل السوائل . فهذا النقل يتم بفعل الثقوب الموجودة بين الخلايا ، وبفعل تقلص الخلايا تقلصاً يؤمن تقدم النسغ . وكانت نظرية الحيوية في هذا المجال قوية بشكل خاص ، ومبينة بسلسلة من الأعمال قام بها كل من : غودلوسكي Godlewski (1844) وسترماير Westermaier (1883) ، جانس Janse (1887) ، شوندينر Schwendener (1892)، بوز Bose (1924)، موليش Molish (1928) وآخرون . إلاّ أن دوتروشي رغم ذلك عرف كيف يحسن توجيه المسألة، مع تردده في إصدار حكم جازم حول سبل النقل . وقد أكد على التمييز الذي قال به هالس Hales بين الدفع (أو الدفعة الجذيرية) ، والجذب الناتج عن التعرق عند مستوى الأوراق . وفي الحالتين ، ارتكزت تفسيراته على الأوسموز وعلى الشعرية . والأوسموز أيضاً هو الذي يتسبب ، في نظر دوتروشي

في الامتصاص عند مستوى الشعيرات الماصة الموجودة في الجذر .

وطيلة القرن التاسع عشر جرت بحوث عديدة لاستكشاف هذا القطاع الصعب رغم أهميته القصوى ، في مجال الفيزيولوجيا . وبيّن هـ. فون موهل H. Von Mohl (1851) عجز الأوسموز عن تفسير صعود النسغ في مجمله . وقدم ج. بوهم J. Boehm (1863) البرهان على الانتقال داخل الأنسجة الميتة . وعكف ساش Sachs طويلاً على هذه المسائل وساهم في استخراج أوجهها الرئيسية . فقد رجع الى انتقاد موهل ضد الأوسموز وتوصل الى اقتراح نظرية الترطيب أو التشبع وبموجبها يرتفع الماء ضمن الأغشية الخلوية لا في فُتحات الأوردة . وهو مفهوم بيّن ج. فاسك J. Vesque سنة 1876 خطأه وضلاله . يتوجب الوصول الى ستراسبورجر (1891) حتى يتم توضيح مهم للمجمل المضطرب من الوقائع ومن الفرضيات . ولم يكن العمل الرئيسي للفزيولوجي الألماني ، إجمالاً إلا اعترافاً بالجهل ، ولكن كان له أهمية حاسمة . فقد طرح المسألة بدقة : إن صعود النسغ الخام يتم من خلال ثقوب الأوعية ، وهذا الصعود قوامه تفاعلية فيزيائية خالصة ليست أسبابها معروفة إلا بصورة جزئية ، وتلى هذا العرض انتقادات عديدة (خاصة من قبل شونديتر) وتلاه أيضاً وبشكل خاص أعمال باهرة قام بها ديكسون وجولي (1894 -1895) في انكلترا ، واسكينازي (1895) في ألمانيا ، الذين نشروا بآنٍ واحدٍ تقريباً نفس النظرية المسماة التماسك (وهي نظرية فكرتها الأولى تعود الى بوهم 1892) . وهذه النظرية التي فرضت نفسها رغم بعض الضعف فيها تتيح فهم صعود النسغ الى علو مرتفع جداً . وهي ترتكز من جهة على تآلف الخلايا فيما بينها في جسم معين (الماء مثلاً) ومن جهة أخرى ترتكز على الحركة التي يمكن توصيلها داخل نظام متماسك محدد ؛ هذا النظام يتحقق في النباتات : فخلايا الماء المحررة بفعل التبخر عند مستوى الأوراق تستبدل تباعاً بالخلايا السائلة الأكثر قرباً ، (تآلفات بين المرحلة السائلة والمرحلة الجامدة ، أي تشبع الأغشية الخلوية في الأوراق بالرطوبة) ، ومجمل النظام ، مع ما فيه من أوعية مملوءة بالماء ، يمثل كتلة مستمرة من السائل ، دائم التغذية من القاعدة (من جراء ثقوبية التربة) . وفيما بعد ساهمت أعمال رينر(1910) ، وبود (1923) ، وماك دوغال (1929) ، على تطوير وعلى دعم هذه النظرية بصورة أفضل .

وهكذا ، في أواخر القرن ، وجدت الوقائع المهمة بحيث تمكن العلم من إعطاء تعبير مرضٍ نوعاً ما عن مجمل المسائل المتعلقة بالماء في النباتات . فالامتصاص (أوسموز) ، والشعرية ، والتشبع بالرطوبة (الترنيخ) ، والتماسك كلها ما تزال حالياً القوى المستعملة لتفسير الامتصاص ، والتجول الأفقي ، وصعود الماء في الجسم النباتي . وبالطبع تتالت الأعمال ، وتم توضيح العديد من النقاط الغامضة . والنتائج التي حصل عليها دي فري ، ثم بعد 1916 ، أورسبرنغ ، حول الامتصاص داخل الخلايا عادت وأعطت لهذا المفهوم الأهمية التي يعطيه إياها دوتروشي . وبيّن أورسبرنغ بشكل خاص بأن قوة امتصاص الخلية ، وطاقتها على المص والرشف ، يجب أن لا تخلط مع الضغط الارتشاقي ، فهذا الضغط قد يكون مرتفعاً جداً في حين يمنع الضغط على الغشاء الخلوي كل رشف أو امتصاص . وأتاحت أعمال أورسبرنغ Ursprung فهم الرشف ومسار الماء في البرانشيمات أو الأنسجة الخشوبية ، ومروره عبر الأوعية ، وبشكل عام ، التزويد بالماء لكل الجسم الحي ، ليس عن طريق الضغط الارتشاقي بل بسبب هذا الضغط المنقوص منه الضغط الحاصل على الجوانب ، أي القدرة

الماصة التي ترتبط بمكان الخلية في النسيج وفي كامل الجسم .

التعرق أو الرشح .ـ هذه الظاهرة لم يغفلها انتباه الفيزيولوجيين منذ أعمال ستيفن هال S. Hales الذي بين الدور المهم للتبخر (عند مستوى الأوراق) في صعود النسغ . وبينت أعمال غارو (1849) التي أصبحت اليوم كلاسيكية أن تعرق الأوراق ، ضمن شروط معينة ، يتعلق بصورة رئيسية ، بعدد المسام . وانه يبدو أيضاً ، إنما بشكل ضعيف فوق مساحات الأوراق الخالية من المسام ان عمل الخلايا المسامية ، ما يزال غير معروف تماماً في أيامنا ، ولكنه سبق وأوضح من قبل « فون موهل » سنة 1856 ، الذي أثبتت أعماله دور التورم . في سنة 1878 أثبت « ج . فاسك Vesque » تجريبياً تعرقاً ملموساً في القشرة ، من الأجزاء الهوائية الطرية في النباتات . وتم التساؤل عن العناصر الخارجية والداخلية التي تتحكم بهذه الظاهرة ، وعند ضخامة التبخر الذي تعرف آثاره في المناخات . كل هذه المسائل كانت موضوع تجارب . فقد تم قياس الخسارة في الماء ، الكبيرة جداً ، وتم توضيح تأثير الحرارة ورطوبة الجو ، والضوء ، ولكن البحوث الناشطة حقاً والزخيمة ، والمتعلقة بالتعرق لن تبدأ في الظهور إلا في مطلع القرن العشرين .

المواد الذائبة : النفاذ ، التوزيع ، النسغ الكامل .ـ بخلال القرن التاسع عشر ، وخاصة بفضل همة فون موهل ، وناجيلي ، وساش ، وفيفر ، ودي فري ، استمرت البحوث المتعلقة بنفاذية الخلايا ، ناشطة ، كان سوسور (1804) مقتنعاً تماماً بتعقيد المسألة ، فعكف، ليس فقط ، على تبيين دور العناصر المعدنية في التربة ، بل وأيضاً على تبيين أنها تتسرب داخل النبتة في حالة الذوبان . في سنة 1810 اثبت روفز Rufz دي لافيزون دور القشرة الخارجية في انتقاء المواد المذابة . وهذه المواد المرفوضة من قبل سيتوبلاسما cytoplasme البرنشيمات الجذورية ، يمكنها مع ذلك أن تتسرب في الشعيرات الماصة ثم تنتقل حتى تصل الى « الأندودرم » بفعل قوانين الفيزياء ، متجولة في كامل الأغشية القشرية السلوليزية . ولكن في داخل الأندودرم ، تتقوي هذه الحواشي أو الأغشية الحاجزية بإطار فليني غير نفّاذ : ان اجتياز « السيتوبلاسم » يصبح هنا ضرورة بالنسبة الى المواد المخصصة للدورة العامة .

ومع فيفر ، قُدمت لنا ، لأول مرة ، نظرية النفاذ الخلوي ، أمام الماء والسوائل . في كتابه عن الأوسموز « أوسموتيش سوشنجن ... Osmotische » (1877) قرر فيفر من جهة ، حقيقة وجود علاقة بين تسرب مثل هذه المادة في السيتوبلاسم ، كما أثبت من جهة أخرى ، رقة الغشاوة البلاسمية ، وعشق هذه المادة لهذه الغشاوة . وأدت أعمال فيفر مباشرة الى الأعمال المهمة الأساسية التي قام بها س. ي. أوفرتون Overtone (نظرية الشحمية أو الدهنية ومفهوم التسرب الناشط أو الغددي) ، ثم ، ابتداءً من سنة 1890 ، إلى البحوث الحديثة .

ولم تصبح بالحسبان ، البحوث المتعلقة بالنسغ الكامل ، أي الماء المشحون بالمواد العضوية القابلة للذوبان ، والمتأتية من النشاط الأيضي ، إلا ابتداءً من النصف الثاني من القرن التاسع عشر خاصة مع ساش وفيفر . وبالنسبة الى مالبيجي ، يرتفع النسغ الخام من خلال الاسطوانة المركزية الى الأوراق ، ثم ينزل بشكل نسغ مكتمل أي مركز من خلال الأنابيب الليبيرية [النجب : طبقة سفلى من اللحاء بين القشرة والخشب] من الكم الجواني . وهذا الراي أثبته وأكده ت. هارتيغ Hartig

(1837) ، الذي أجرى دراسة تشريحية وتجريبية على الأنسجة المعنية . وأدخلت تصحيحات جدية على هذه الآراء بفعل الأعمال الحديثة .

امتصاص وتجول الغازات . ـ اكتشف العالم النباتي الألماني تريفيرانوس الثقوب بين الخلايا سنة 1806 ، وظنها مخصصة لتجول النسغ . ويعود الفضل في معرفة دورها في جر الغازات الى آميسي ، سنة 1823 . ان بعض المسائل الأكثر قرباً (دور المسام والعدسيات ، والقشور الشمعية (كوتين يشكل مع السليلوز قشرة النبات) ، ونفاذية « البشرة » في النباتات الخالية من المسام)هذه المسائل كلها حُلت، أحياناً بدون جهد ، بخلال القرن (دوتروشي ، 1832 ، غارو ، ساش) . والكثير منها مرتبط تماما بالمسألة العامة ، مسألة الامتصاص وتجول السوائل .

تتسرب الغازات الى داخل الخلية في حالة الذوبان (في الماء أو في المادة البلاسمية بالذات) ، وفقاً للأوالية التي تنظم دخول المحلولات .

V ـ التغذية المعدنية

إن النتائج الحاصلة هي التي عبر عنها بوضوح خالص سوسور ، منذ سنة 1804 ، بعد أن كانت تقريباً بدون مفعول على العلم طيلة عدة عقود . إلا أن هذه النتائج فتحت طريقاً تبين أنه مخصب بشكل مدهش . إن أعمال ج . ل . ليسينيه J.L. Lessaigne (1821) ، وأعمال ج . س . شوبلر Schübler (1830) وأعمال و . آ . لامباديوس (1832) وأعمال ب . ي . جابلونسكي (1836) ثم أعمال ش . س . سبرنغل (بين 1826 و1852) تعتبر معالم في العلم ، قبل المرحلة الحاسمة المطبوعة بوجود آ . ف . ويغمان ول . بولستورف L. Polstorff (1880 -1881) اللذين بينا بواسطة تقنية دقيقة ، الدور الاجمالي ، ونشأة العناصر المعدنية التي دل عليها تحليل النباتات : التأكيد النهائي على بطلان المفاهيم الحيوية ، وعلى صحة استنتاجات سوسور .

جوليوس فون ليبيغ Julius Von Liebig . ـ يعتبر ليبيغ معلماً في تاريخ الكيمياء العضوية والكيمياء البيولوجية والزراعية . فقد أغنى معارفنا باكتشافات أساسية كما أنه أعطى دفعة غير عادية لتطور التعليم والبحث ، ضمن عقلية إيجابية قوية . وقد دعم بحرارة ، بفضل نظريته المعدنية حول الأسمدة ، أن الهوموس Humus (دبال أو تربة عضوية) لا علاقة له اطلاقاً بخصوبة الأرض ، وان النبتة تتغذى بالأملاح المعدنية وبالماء وانها تأخذ الكربون والآزوت (بشكل آمونياك) من الفضاء . والآزوت الآمونياكي لا يوجد إلاّ بكمّية بسيطة جداً في الفضاء .

وقال بوجود تمثل للأسيد كربونيك عبر الجذور ، وضمن بعض الظروف ، وان هو أخطأ تماماً حول أصل الآزوت الذي تشربه النباتات ، فقد امتاز ، مع ذلك ، بأنه بين أن هذا الجسم لا يستعمل إلا في حالة الاندماج مع جسم آخر . ومفهومه للاملاح المعدنية حمله على تعريف القوانين الأساسية للزراعة : إن العناصر المعدنية هي في التربة بكميات محدودة وما هو مسحوب من التربة من قبل النباتات المزروعة يجب أن يعاد اليها .

وبعد أن كان في منتهى الفائدة ، تبين بسرعة أنَّ المفهوم الفيزيائي الكيميائي عند ليبيغ المتعلق بالتربة وبالهوموس هو غير ملائم . وهناك مفهوم آخر حل محله وجوباً بعد أعمال باستور . وهو ما يزال قائماً حتى الآن .

العناصر المعدنية .ـ في سنة 1860 ، ولأول مرة تم انجاز تقنية في الزراعة هي الزرع في محلول من الأملاح المعدنية ، وذلك من قبل الفيزيولوجي الألماني ج. ساش ، الذي فتح بعمله هذا الطريق الى أحد الفصول الأهم في الفيزيولوجيا الحديثة . وبعده تم وضع صيغ سوائل تركيبية عديدة (رولن Roulin 1863 ، 1870 ؛ نوب Knob ، 1865 ؛ ي. ولف E. Wolff ، 1866 ؛ فيفر ، 1900) ؛ والصيغة التي وضعها جون رولين ، أحد تلامذة باستور كان لها وقع خاص : فقد أتاحت زراعة فطر هو (اسبرجيلوس نيجر) ، وذلك ضمن شروط تساعد على النمو الأقصى .

والطريقة التركيبية لأمكنة الزراعة إذا أضيفت الى الطريقة التحليلية ، سوف تحقق تقدماً سريعاً ، وخاصة التعرف الى الاحتياج المطلق على عشرة أجسام بسيطة لازمة لتغذية النباتات معدنياً ، وعلى ستة عناصر كبرى تدخل بكميات وافرة : الأزوت والفوسفور (ج. فيل ، 1853 ـ 1860) ، الكبريت(بيرنر ولوكانوس ، 1866) ، الكلسيوم (سالم ـ هورستمار ، 1856) ، بوتاسيوم.، (بيرنر ولوكانوس 1865 ؛ نوبي ، 1870) ، مانيزيوم (سوسور ، 1804 ؛ فون رومر ، 1883 ؛ ويلستاتر ، 1906) ؛ وأربعة أجسام مساعدة تلعب دوراً بكميات ضئيلة (غريس ، 1843 -1844 ؛ رولن 1869) الزنك (رولن ، 1859) ، المنغنيز (ج. برتران ، 1897 ، 1905) ، البور (آغولهون ، 1910) . وإذا أخذنا في الاعتبار الكربون ، والهدروجين والأوكسجين نحصل على مجموع من ثلاثة عشر جسماً بسيطاً . وبعد ذلك عرفت الحاجة الى النحاس والى الموليبدين (والى الكلور في بعض الحالات) ، ولكن النيكل والكولبات والآلومنيوم ، الخ . ظلت موضع جدل .

VI ـ التغذية الآزوتية

في التغذية الآزوتية عند النباتات العليا ، يجب أن نميز ، من جهة التزود (مصادر ، أشكال ، تفاعليات وسبل الامتصاص) ، ومن جهة أخرى الاستخدام (التركيب البروتيني ، الهجرة) . والمسائل العديدة المتعلقة بالمظهر الأول ، رغم تعقيدها وجدَّتها الكبرى ، قد حلت كلها تقريباً بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

بوسنغولت Boussingault وينوغرادسكي Winogradsky : النيترات والتغذية بها .ـ إن الأزوت ، وهو عنصر أساسي في الأمينات ـ الأسيدية ، وفي البروتينات وغيرها من مركبات الخلية النباتية ، يتواجد بكميات كبيرة في الفضاء ، بشكل خلايا ، ويتواجد في التربة ، بأشكال متنوعة . ما هي علاقة النبتة بهذا الأزوت ؟

في سنة 1837 ، لم يكن لدينا معلومات دقيقة عن ما سماه العلم الحديث بالدورة الآزوتية . في ذلك الوقت قام بوسنغولت ، بسلسلة أولى من البحوث . كان هذا الأخير زارعاً موهوباً ، من فصيلة

ت. سوسور ، ويشبهه من نواح كثيرة : حسٌ سليم ، وتوازن ، خِصْب في الخيال ، جرأة منهجية ، حب للكم وللدقة التجريبية . ويعتبر بوسنغولت مع معاصرَيْه ليبيغ Liebig وج . ي . مولدر Mulder ، كمؤسس للكيمياء الزراعية . فقد أنشأ أول محطة زراعية سنة 1836 . وجرب لأول مرة في الحقل مباشرة ، وعلى مجموعات . وأعماله حول القيمة الغذائية للمنتوجات النباتية ، وحول استصلاح التربة بالمناوبة ، وحول النيترات ، كانت حاسمة وذات أثر ضخم عملي ونظري .

في تجاربه الأولى (1837 -1838) ، جهد في معرفة ما إذا كان الآزوت الحر في الهواء يمكن أن تمتصه النباتات ، ولكن النتائج التي حصل عليها بدت له متناقضة . فقد تثبت أن بعض النباتات (مثل النفل والجلبانة) المزروعة في تربة اصطناعية بدون مواد معدنية أو عضوية ، تكون أغنى بالآزوت من حبوبها التي ولدتها : لا يوجد فائض من الآزوت ، في حالة القمح أو الشعير . وبعد ذلك بكثير قادته سلسلة جديدة من البحوث (1851 -1855) الى استنتاج ثابت : ان الآزوت الحر في الهواء لا يستخدم مباشرة من قبل النبتة . وهذه النتيجة أكدها العلماء الانكليز ج . ب . لوز ، وج . هـ. جلبرت وي . بوف (1861) .

ودرس بوسنغولت مطولاً مختلف أشكال الآزوت في التربة وخاصة تكون النيترات . ومن أشهر تجاربه واحدة استمرت من 1860 إلى 1871 . تربة محللة بدقة ومعزولة عن الهواء ،ضمن زجاجات كبيرة . وفي آخر التجربة لوحظ أنه إذا كان الآزوت في مجمله لم يزد فبالمقابل كانت هناك زيادة في الآزوت النيتري . وإذاً ، وبدون أي تقديم للآزوت الحر هناك نَتْرَتَةٌ ، أي تأكسد الآزوت الأمونياكي في التربة . وتمثل هذه النتيجة خطوة أساسية نحو معرفة التفاعلية المدروسة . وقد تمت هذه المعرفة بخلال مرحلتين . في سنة 1877 (وجه باستور منذ 1862 البحوث في هذا الاتجاه) قام تلميذان لبوسنغولت هما ج.ج.ت. شلوزنغ J.J.Th.Schloesing ، وآ. مونتز A . Müntz ، بإثبات أن النترتة هي ظاهرة بيولوجية . وأخيراً ، وفي سنة 1890 -1891 اكتشف العالم بالبكتيريا الروسي الشهير س . وينوغرادسكي الأجسام الميكروسكوبية المنترتة (البكتيريا الذاتية التغذية ، والتي تعيش بدون هواء) وحدد المبادىء الأساسية في النترتة ، فميز البكتيريا التي تعطي النترات والبكتيريا التي تستقبلها . وفضلاً عن ذلك ولأول مرة ، تبين أن بعض الأجسام يمكن أن تعيش وان تنمو في حال انعدام أي أثر للمادة العضوية ، فوق تربة معدنية خالصة .

ومن الصحيح ربط اسم بوسنغولت باسم العالم الزراعي جورج فيل Ville الذي بين الأثر القوي للنترات على نمو النباتات .

اللانترتة أو نزع النترات ـ قبل اعمال وينوغرادسكي حول الطبيعة البيولوجية للنترتة ، أبرز بعض المؤلفين الظاهرة المعاكسة ومنذ 1875 توصل موسل الى إيقاف انخفاض النترات بمفعول المطهرات . وعرفت أعمال ب.ب. ديهيران P.P. Dehérain ول. ماكين L. Maquenne (1882) وخاصة اعمال غايون ودوبوتي عملية نزع النترات . وعزلت الأجسام المخفضة ووزعت في مختبر . وكانت هذه الظاهرة ذات الأهمية الرئيسية بالنسبة الى الزراعة موضوع أعمال متعددة منها أعمال أ. لوران (1880 - 1890) التي بيَّنت أن بعض الفطور (الترناريا ، بينيسيليوم) هي أجسام مزودة بالقدرة المخفضة للنترات .

الأزوت الأمونياكي .ـ أثبتت أعمال كثيرة (شلوزنغ، 1874 ، منتز 1889) أن النباتات العليا مؤهلة لامتصاص وتمثل الأزوت المعدني ليس فقط بشكل نيتري (نيترات) بل وأيضاً بشكل آمونياك . بشرط أن يقدم للنبتة بتركيز خفيف . وفيما بعد (1909) قدم م. موليار الاثبات العملي بأن النباتات العليا المزروعة في وسط معقم ، يمكن أن تمتص وأن تتمثل الأزوت المندمج عضوياً (الأنتويين ، آسيد أوريك ، غليكوكول Glycocolle) .

تثبيت الأزوت الحر من قبل التربة العارية : برتيلوت ، وينوغرادسكي وبيجيرنك .ـ ابتداء من سنة 1882 فتح حقل جديد خصب جداً بفضل أعمال مرسلين برتيلوت . فاغتنت أراضٍ عارية ـ سبق وحددت بدقة نسبة الأزوت المدموج فيها ـ وحفظت ضمن شروط تجريبية محددة جداً ، فاغتنت بصورة تدريجية بآزوت مندمج . وكانت هناك أراضٍ شاهدة ، تعرضت لنفس التجربة ، ولكنها قد سخنت في السابق بحرارة تزيد عن مئة درجة ، فأظهرت نسبة ثابتة من الآزوت . واستنتج برتيلوت بأن الاغتناء بالآزوت المدموج يجب أن ينسب الى نشاط أجسام ميكروسكوبية قادرة على تثبيت الآزوت من الفضاء .

في سنة 1893 ، اكتشف وينوغرادسكي في التربة بكتيريا لا هوائية ، هي الـ « كلوستريديوم باستوريانوم» . هذه البكتيريا لا يمكنها أن تعيش في الأوكسجين . وبالمقابل انها تنمو في وسط مشبع بالغلوكوز وبفضاء آزوتي وهي في الطبيعة دائماً مدموجة مع بكتيريا أخرى تستطيع العيش في الفضاء الحر . إن أعمال وينوغرادسكي المدهشة ـ إذ اليه يعود الفضل أيضاً باكتشاف شهير هو اكتشاف الكيمياء التركيبية (1887)، بفضل بكتيريا مسلفرة ـ تلتها في سنة 1901 أعمال العالم الهولندي بيجرينك Beijerinck ، المشهور بمساهمته المهمة في دراسة أمراض فيروس النباتات . واكتشف بيجرنك بكتيريا هوائية منها اشتق الصنف المسمى « آزوتوبكتر » ـ وبيّن ، أنه في الوسط غير الحوامضي « الأسيدي » ، وفوق محلول غلوكوزي تتمثل «الآزوتوبكتر» الآزوت الفضائي بقوة. وهكذا وبمجمل هذه الأعمال ، قُدِّمَ الدليلُ على أن التربة تثبت وتأخذ الآزوت الحر من الهواء .

العقد البكتيرية في القطانيات والبقول وتثبيت الأزوت الحر : هلريغل Hellriegel وويلفارث Wilfarth .ـ سنة 1866 بين العالم النباتي الروسي م. س. ورنين Woronine بأن العقد الجذورية في البقول مملوءة بالبكتيريا وقبل ذلك أبرزت الملاحظة التجريبية العملية عند الزراع ، وأعمال العديد من الفيزيولوجيين ، الدورَ التحسيني الذي تحدثه زراعة البقول في التربة . في سنة 1886 -1887 أثبت علماء الزراعة الألمان هلريغل وويلفارت ، بموجب تجارب دقيقة للغاية ، إن البقول عندها القدرة على النمو في وسط محروم من الآزوت الممزوج ، وذلك بتمثلها الآزوت الحر من الهواء ، بفضل العقد الموجودة في جذورها . إن هذه الأعمال الشهيرة توضحت وتأكدت وطورت فيما بعد (أ. بريال ، بيجيرنك ، رازموسكي ، شلوزنغ الابن، ولورانت ومازي) . وتوصل بيجيرنك الى زراعة البكتيريا في المختبر . وسميت هذه البكتيريا من قبل فرنك (1890) « ريزوبيوم البقول » . وفي ما بعد تم تمييز عدة أصناف أخرى .

والخلاصة : دلت الوقائع الحاصلة بين 1838 و1900 على المظاهر الرئيسية التي للآزوت في

الطبيعة . والدورة فيه قد عرفت بكاملها ، ان صح القول : آزوت حر في الفضاء ، آزوت ممزوج في التربة ، آزوت عضوي ممزوج ، ومرتبط ، من جهة بنشاط بعض البكتيريا ، ومن جهة أخرى ، مربوط بالقدرة الموجودة بالنباتات الخضراء ، والتي تمكنها من تركيب البروتينات الأكثر تعقيداً . وأجمل ما في هذه التطورات ، في هذا القسم من العلم ، والتي حصلت بعد 1860 ، لم تكن ممكنة إلا بمساعدة أساسية من علم البكتيريا ، وهو علم جديد ولد بعد أعمال باستور . فالمفهوم الجامد للتربة ، المفهوم اللامتحرك ، خُلِق بمفهوم ديناميكي بيولوجي ، بمفهوم ثوري من حيث النتائج الضخمة التي حققها هذا المفهوم على الصعيد النظري والعملي .

وفي ما خص ايض (ميتابولسم) المواد البروتينية في النباتات ، تم إبراز بعض النقاط المهمة منذ نهاية القرن التاسع عشر (فيفر : ساش ، أ . شولز ، د . ن . بريانيكوف ، الخ.) ، ولكن الأواليات الإحيائية الكيميائية التي دخلت في الظاهرة ، هي من التعقيد بحيث أنها لم تستطع ، يومئذٍ ، أن تخضع للاستقصاءات المجدية حقاً .

VII ـ التغذية الكربونية . التخليق الضوئي الكلوروفيلي

إن النباتات ذات الكلوروفيل لها القدرة ، مع بعض البكتيريا ، أن تثبت الكربون المعدني . وهي تُكَوِّنُ في الضوء ، مع الآسيد كربونيك والماء ، موادَ عضوية . والظاهرة تقترن من جهة بتحرير الأوكسجين ، ومن جهة أخرى بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية . هذه الوظيفة المهمة ، كشفت علمياً بين 1772 و1804 ، من قبل بريستلي ، انجنهوس ، سينبييه ، سوسور ، فأحدثت إنجازات عديدة كبيرة ، ولكن البحث المكثّف قلما بدأ إلا مع نشر مذكرة آ. غري Gris (1857) : دراسة ميكروسكوبية للكلوروفيل ونموه . ومن قبل كان هناك بعض المؤلفين الذين يستحقون الذكر : ب. بيليتيه ، وج. كافنتو الذي اليه يعود الفضل في وضع كلمة كلوروفيل (1818) ، ودوتروشي (1837) ، وغارو (1850) ، وأيضاً الفيزيائي والطبيب الألماني روبرت ماير الذي أعلن (1845) أن النباتات الخضراء تُخَلِّقُ تركيباتِها بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية . في سنة 1860 أشار ادمون فريمي الى مبدأين يمكن التمييز بينهما فيما خص الكلوروفيل : الأول أزرق والثاني أصفر . ولكن البحث لم يتجدد نشاطه إلا بعد عدة سنوات . (إن كلمة تصوير تركيبي (Photo synthèse) هي من ابتكار ش. ر. بارنس Barnes (1898) .

جوليوس فون ساش Julius Von Sachs . ـ اكتشف هوغو فون موهل وجود حبات الأميدون (النشاء) في الكلوروفيل (1845، 1855) . وقام ناجيلي بتنفيذ دراسة تشكيلية رائعة (مورفولوجية) (1848) . بين هـ. فون موهل ان الكلوروفيل وجد قبل الأميدون بزمنٍ طويل . ولاحظ غري 1857 ان الأميدون الموجود في الكلوروفيل يزول في الظلام بعد عدة أيام . ونجح ساش في إدراك معنى هذه الوقائع ، كما نجح في التثبت من العلاقة الوظيفية . وبفضل بعض التجارب البسيطة جداً (1862 -1864) بيَّن الفيزيولوجي الكبير أن الأميدون هو من منتوجات النشاط الكلوروفيلي في الضوء . وهكذا تقرر ، لأول مرة وجود علاقة مباشرة بين الضوء وتكون أحد أهم العناصر في التمثل . واستطاع ساش أن

يثبت : 1) ان بعض النباتات المحرومة من الأميدون تستعيض عنه بمادة مماثلة ، سكر ، تركبه هي . 2) ان الأميدون ليس هو المنتوج المباشر للنشاط التخلقي الضوئي . وإلى ساش يعود الفضل في وضع المعادلة التي ظلت كلاسيكية لمدة طويلة حول التخلق الضوئي :

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{الطاقة الشمسية} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

بحوث متنوعة .ـ في نفس الحقبة تقريباً (1864) تدخل بوسنغولت أيضاً في دراسة التركيب الضوئي أو التخلق الضوئي ، وبشكل إيجابي جداً . فبين أن حجم الغاز كربونيك الذي تمتصه النبتة يساوي بشكل محسوس الأوكسجين المتصاعد (تختلف النتيجة قليلاً وهي مغلوطة بفعل الظهور الآني للظاهرة التنفّسية) . وهو أمر عرفه سوسور وأكد عليه ماكين وديموسي (1912) . وقرر أن تمثل الكربون يقتضي تشارك « البروتوبلاسما البلاستية » مع الملوِّن . وفي سنة 1881 تخيل انغلمان طريقة فيزيولوجية سميت طريقة « البكتيريا » . وكانت هذه المادة عاملاً حساساً جداً مع وجود الأوكسجين فاستخدم إلى حد بعيد في دراسة التشكل الضوئي . وأوصلت انغلمان إلى وضع نظريته الشهيرة حول تكيف الطحالب الحمراء مع الأعماق البعيدة . ومنذ بداية القرن العشرين كانت الأفكار واضحة نوعاً ما حول العوامل الداخلية والخارجية وهي عوامل محددة عند بلاكمان (1905) ، تتدخل في النشاط التخليقي الضوئي .

إن أعمال بلاكمان حول دور تركيز الغاز كربونيك الفضائي ، وأعمال تيميرياسيف (1877) وأعمال انغلمان حول النشاط الكبير للاشعاعات الحمراء والبرتقالية ، ما تزال صالحة حتى اليوم . وكذلك العوامل : درجة الحرارة وزخم الضوء قد درست أيضاً بشكل معمق. وفيما بعد كانت الدراسة المتقدمة لأثر هذين العاملين على التخليق الضوئي ، هي التي حملت على التفريق بين مرحلتين : المفعول الاناري المتبوع بمفعول مظلم (متأثر بدرجة الحرارة) . وفي الماضي ، ومنذ 1870 ، طرح باير فرضية أوالية تتضمن زمنين : وهي مراحل قال بها أيضاً بوسنغولت (1860) .

وفي مجال آخر من الأفكار وضع أ. شونك ول. ماركلوسكي (1894) تقارباً كيمائياً بين الهوموغلوبين في الدم وبين الكلوروفيل ، باعتبارهما من مشتقات البيرول . وحوالي نفس الحقبة (1894 - 1896)، عزل هـ. موليش « الفيكو أريترين الموجود في الفلوريدي ، والفيكوسيان الموجود في السيانوفيسي». والدراسة الكيميائية للملون (Pigment) ، سوف تتقدم تقدماً سريعاً ابتداءً من سنة 1906 وهو التاريخ الذي توصل فيه م. سويت ، بفضل تقنيات ممتازة ، إلى التعمق جداً في تحليل الكلوروفيل .

VIII ـ حركات النباتات . النمو

منذ القرن السابع عشر لم تتوقف بعض حركات النباتات (مثل التأثر باللمس وبالنفس ، والتوجه أو الانتحاء ، وتمايل رأس النبتة) عن تحدي علماء النبات . ولكن في سنة 1806 ، ومع العالم

الانكليزي الكبير ت. آ. نايت قامت الأعمال الكبرى التجريبية حول حركة النمو . وأثبت نايت ، بواسطة وسائل ابتكرها ، تأثير الجاذبية الأرضية على النمو العامودي للجذوع . وبيّن أيضاً ، في سنة 1811 ، ان توجه الجذور مرتبط برطوبة التربة ، وهو أمر تثبت منه جونسون سنة 1828 . ولكن المفاهيم السائدة هنا كما في مجالات أخرى كغيره ، تتعلق عموماً « بفلسفة الطبيعة » . وعارض دوتروشي (1822) وموهل (1827) بتصميم هذه الأخيرة ، وقدما وقائع تشريحية وبراهين ميكانيكية .

وتميز النصف الثاني من القرن بتكاثر البحوث بوتيرة سريعة جداً . وكانت الأعمال الأكثر بروزاً موقعة من قبل علماء مألوفي الأسماء أمثال : ساش (1868) وبوسنغولت ، وداروين (1882) ، وفيفر (1904) . . . وأدت سلسلة من الأعمال أطلقها داروين ، وعاودها فيتن Fitting (1907) ، الى قيام بويسن- جنسن (1910 -1911) أخيراً باكتشاف الهرمونات النباتية التي شكلت فصلاً جديداً في البيولوجيا المعاصرة .

الفصل السادس

الفيزيولوجيا الحيوانية
علم وظائف الأعضاء في الحيوان

إن علم التشريح الوصفي والمقارن ، بمختلف مظاهره ، قدم معلومات واسعة حول طبيعة الأعضاء وبنْيتِها ، وأتاح التعرف ، بدقة نوعاً ما ، على دورها : ولكن المعرفة الدقيقة لوظائف هذه الأعضاء تشكل مجالاً علمياً مستقلاً هو علم الفيزيولوجيا أي وظائف الأعضاء ، الذي يرتكز بصورة أساسية على التجربة الحية . وبهذا تلتقي البيولوجيا مع الفيزياء ومع الكيمياء ، إنما على أرض معقدة للغاية . والأدوات المستعملة تتمتع بمسار عملي دقيق للغاية ، وهي تتشابك فيها بينها . في أصل كل دراسة يتوجب بعناية تحديد الموضوع المدروس ثم دراسته ضمن شروط محددة بدقة .

وإذا كانت هناك ، قبل القرن التاسع عشر ، بعض البحوث الفيزيولوجية التي من أبرزها هي بحوث هارفي حول الدورة الدموية ، وبحوث لافوازيه حول التنفس ، فإنه في هذا القرن الجديد فقط استطاعت الفيزيولوجيا أن تأخذ مداها وان تحدد مناهجها . في هذا العمل التأسيسي ، هناك اسم يعلو على كل الأسماء : إنه اسم كلود برنار . وأحد كتبه « مدخل لدراسة الطب التجريبي » ، ما يزال بالنسبة الى الكثير ، القانون المنهجي في الفيزيولوجيا الحديثة

I ـ الفيزيولوجيا في فرنسا

الأعمال الأولى والتصورات الأولى .ـ يمكن اعتبار لافوازيه كمؤسس لهذا العلم بفضل بحوثه حول التنفس ، ورده إياه الى الاشتعال ، وبفضل بحوثه حول الحرارة الحيوانية . ولو أن حياته لم تقصف بشكل مبكر من قبل الثورة الفرنسية ، لكان من غير شكٍ قد أضاف إلى أعماله الأولى معطيات مهمة أخرى . ولكن من المهم جداً أن نضع ، وجهاً لوجه ، أفكار رجل آخر ذي قيمة لا جدال حولها ، تلك هي أفكار ك. بيشات (1771 -1802) ، الذي مات في عز الشباب دون أن يعطي كل ما

عنده . فقد رفض المبدأ العام الوهمي حول القوة الحيوية التي توجه مجمل مظاهر الحياة ، إلا أنه لم يفعل سوى التحرير والاطلاق .

« كتب في سنة 1800 ، يقول في « البحوث الفيزيولوجية حول الحياة والموت » : ان الفيزياء والكيمياء تتلامسان لأن نفس القوانين تتحكم بظاهراتها ، ولكن هناك مسافة تفصل بينهما وبين علم الأجسام العضوية ، إذ هناك فرق ضخم بين قوانينها، وقوانين الحياة ، والقول ان الفيزيولوجيا هي فيزياء الحيوانات يعني إعطاء فكرة عنها غير صحيحة على الإطلاق . حتى اني أفضل عليه القول بأن علم الفلك هو فيزيولوجيا الكواكب » .

هذه الأسطر القليلة تتيح قياس الثورة التي يجب إكمالها حتى تتوصل الفيزيولوجيا الى مركزها العلمي الحالي .

في إطار المملكة النباتية بدىء بدرس المبادلات الغازية في النباتات ، بينها وبين الفضاء ، كما تدل على ذلك أعمال لافوازيه ، وكتاب « الفيزيولوجيا النباتية » الذي نشره الجنيفي سينبييه Senebier بين 1782 و1788 . واهتدى دوتروشي الذي اكتشف ظاهرة الامتصاص (أوسموز) الى وحدة الأواليات الفيزيولوجية في المملكتين .

يقول : « لا توجد الا فيزيولوجيا واحدة ، هي علم عام يبحث في مسلك الكائنات الحية. إن محاولات تطبيق الظاهرات الفيزيائية على تفسير عمليات التفاعل الفيزيولوجي تنحو الى إزالة الغموض الذي أدخله الفيزيولوجيون « الغائيون » في العلم الفيزيولوجي » .

وأجرى أحد معاصري بيشات وهو ليغالوا (1770 -1814) ، الذي كانت حياته أيضاً قصيرة ومعاقة بالظروف المادية الصعبة ، والذي كان يمارس الطب ، تجارب دقيقة على الجهاز العصبي على حيوانات التجارب (كوباي) وعلى الأرانب والقطط ، وأوضح ، فيما يتعلق بالحبل الشوكي ، موقع (العقدة الحيوية) الذي سبق وتبينه لوري في القرن الثامن عشر . وبيّن أن دور هذه العقدة هو تنظيم الحركات التنفسية (تجارب حول مبدأ الحياة ، 1812) .

ماجندي Magendie ـ أما الوجه الرئيسي في الفيزيولوجيا بخلال النصف الأول من القرن التاسع عشر فهو وجه فرانسوا ماجندي (1783 -1855) ، الذي كان له الفضل الكبير في معارضة المفاهيم الحيوية بشدة ، ووضع الفيزيولوجيا على أرض التجريب ، نهائياً، معارضاً أفكار بيشات ؛ كما له الفضل في البحث ، بصورة منهجية ، عن العوامل الفيزيائية والكيميائية تفسيراً للأحداث الفيزيولوجية ، مع الاهتمام الكبير بعدم تجاوز نتائج كل تجربة (راجع بعض الأفكار العامة حول الظاهرات الخاصة بالأجسام الحية في « نشرة العلوم الطبية ، 1809) . وقد أراد ، فضلاً عن ذلك ، نشر مفاهيمه . ولهذه الغاية ، أعطى درساً (محاضرة) خاصاً في الفيزيولوجيا ، حيث كان يجري تجاربه أمام المشاهدين (المستمعين) . من هذه المحاضرات خرج كتاب « الموجز في الفيزيولوجيا » . الذي يختلف عن كتب العصر والذي عرف الشهرة في أوروبا . وعُيّن ، في سنة 1821 ، في « أكاديمية العلوم » ، وخلف ، سنة 1830 ، لاينك Laennec على كرسي الطب في الكوليج دي فرانس . وأمام

ذهول معاصريه ، أقام فيها مختبراً ، وطبق فيه الطريقة التجريبية في الفيزيولوجيا . وقد حاول دائماً أن يركز على الوقائع الثابتة :

« يقول : كل انسان يقارن نفسه ضمن محيطه ، برجل عظيم نوعاً ما ، بارخميدس ، أو مايكل انجلو ،أو نيوتن أو غاليلي أو ديكارت . كان لويس الرابع عشر يقارن نفسه بالشمس . أما أنا فأكثر تواضعاً إني أشبه نفسي بلمام الخرق . صنارتي في يدي وكيسي على ظهري ، أمشي في مجال العلم والْمُلِم ما أعثر عليه » .

هذه الطريقة الدقيقة المبالغة في الدقة تتوضح ببحوثه حول وظائف الأعصاب الفقارية . في سنة 1811 تصور المشرح الانكليزي شارل بل (1774 -1842) ، دون أن يتوفر له الدليل الواضح ، أن الوجه البطني من الحبل الشوكي هو الطريق الذي به تتم الوظائف العليا للدفاع ، فيؤمن الحركية والشعور الاحساسي ، وان الوجه الظهري يقوم بوظائف أكثر تواضعاً مصدرها المخيخ : الغذاء والحيوية . ولإثبات ذلك قام ، على حيوان حي ، بقطع الجذر الورائي للاعصاب الفقارية ، دون أن يلحظ ردة فعل حركية في حين تسبب بتقلصات عضلية حين قرص الجذر الأمامي .

وقام ماجندي ، دون أن يعرف النتائج التي توصل اليها بل ، في سنة 1822 بدراسة خصائص جذور الأعصاب الفقارية . فقطع ، ليس فقط الجذر الورائي ، بل وعلى حدة أو بآن واحد الجذر الأمامي ، ثم أخذ يحفز بشكل منهجي ، الطرف المركزي ، والطرف الأطرافي . كما استعمل أيضاً السموم مثل الجوز المقيء ولم تحدث الاختلاجات مجدداً عندما قطعت الجذور الأمامية . وهكذا أثبتت التجربة أن الجذور الأمامية تتكون من خيوط محركة ، وان الجذور الخلفية هي خيوط احساس . ولم يستطع بل ، الذي قال عنه كلود برنار أنه « تأملي أكثر مما هو تجريبي » . أن يرى إلا قسماً من الحقيقة . ولكن ، في الشهور اللاحقة ، تأكد ماجندي أن الجذور الأمامية هي أيضاً حساسة . وأشار ، بدون تأخر ، الى هذه المخالفة واستمر يجرب طيلة عدة سنوات . وأخيراً اكتشف أن الخيوط الحساسة ، الآتية من الجذر الخلفي تدخل في الجذر الأمامي فتعطيه حساسية تسمى متكررة أو راجعة ، وأهمية هذه التفصيلات هي أنها تشير الى الدقة التجريبية في طريقة ماجندي .

فلورانس **Flourens** ـ وهناك فيزيولوجي فرنسي آخر، أصغر بقليل من ماجندي ، هو ب. فلورانس (1794 -1867) ، وكان له أيضاً مكانة ملحوظة في البيولوجيا الفرنسية ، عمل استاذاً في الميزيوم وفي الكوليج دي فرانس . وقد تأثر بعمق بكوفيه . وتبين ، من جهة أخرى أنه مجرب بارع ونفاذ الفراسة . لقد أوضح ، بعد ليغالوا ، مكان المركز التنفسي . لقد اقتلع من حمائم كامل نصفيْ الكرة الدماغية ، وبين أن هذه الطيور ظلت تعيش وتقوم بالوظائف الأساسية ولكنها فقدت كل مبادهة : فلم يبق لها إلا الانعكاسات . واليه أيضاً يعود الفضل بالتجارب الجميلة حول الأقنية نصف الدائرية ، والشعور بالفضاء واسترجع تجارب دوهاميل ، في القرن الثامن عشر ، حول تلوين العظام بواسطة « الفوة » (غارانس garance) ، وأثبت بالتحقيق دور القشرة التي تحيط بالعظام في نموها (السمحاق) وبعد اكتشاف التخدير من قبل هـ. ولز ، في الولايات المتحدة ، اكتشف مفعول الكلوروفورم . وبقي اسمه مرتبطاً بجملة معطيات مهمة ودقيقة .

كلود برنار Claude Bernard ـ ولد في قضاء ماكوني ، في قرية سان جوليان ، من عائلة متواضعة . ودرس كلود برنار (1813 -1878) الصيدلة في ليون واجتذبه الأدب المآسوي . وجاء الى باريس ، بعد أن كتب تراجيديا حكّـم فيها برأي سان مارك جيراردان . ولحسن الحظ ، رده هذا عن المسرح . فاتجه عندئذٍ الى دراسة الطب . وفي سنة 1839 ، دخل في الخدمة في مستشفى ماجندي . ولاحظ هذا الأخير قيمته ، فالحقه بالمختبر . ولقي برنار ، فيه ، قسوة هذا المعلم حتى أوشك أن يتركه ولكن أصبح في سنة 1853 خلفاً له في الكوليج دي فرانس .

واستكشف كل الفيزيولوجيا وجددها : فيزيولوجيا العصائر الهضمية في البداية ، ثم اللعاب (1847) ، والعصارة المعدوية (1843) ، وعصارة البنكرياس الخ . وأثبت دور البنكرياس في هضم الشحوم (1848 -1856) . وحلل هضم السكر مما قاده الى اكتشاف مهم هو الوظيفة الغليكوجينية للكبد (1848) وتوصل الى عزل الغليكوجين (1855) واهتدى الى ثبات مقدار الغلوكوز في الدم ، والى أن اختلال هذا التوازن يشكل مرض السكر (ديابت) (دروس حول السكري والغليكوجينيز الحيواني ، 1877) ؛ ودحض الاعتراضات التي وجهت الى استنتاجاته بتجارب مقنعة . إن الوظيفة الغليكوجينية في الكبد هي أول مثل عن الافرازات الداخلية التي جددت ، بعد ذلك ، الفيزيولوجيا العامة وعلم التطبيب (الباثولوجيا) . وظهر الغلوكوز كجسم قابل للحرق يدور في الدم ، ويحترق في الأنسجة وهو أساس الحرارة الحيوانية التي قام لافوازيه ولابلاس بدراستها . ولكن مركز هذا الاحتراق لم يكن الرئتين كما ظنا ، إنها الأنسجة المختلفة . ينقل الدم الغلوكوز والأوكسجين ، وينظم الحرارة الحيوانية . ومن جهة أخرى اكتشف كلود برنار دور الجهاز العصبي الحبي الكبير في هذا الضبط ، عن طريق ما يحدثه من اتساع في الأوعية الدموية . كل هذا قد أثبت بتجارب مقنعة ودقيقة ، وتحقق بسنوات قليلة ، واتجه نحو مفهوم مركزي هو « ثبات الوسط الداخلي » ، وان الاضطرابات المرضية تنتج عن اختلال هذا التوازن . ان الجسم يتفاعل مع الاختلال الحاصل في الوسط الخارجي ، بواسطة أواليات تعويضية . إن الفيزيولوجيا بأكملها قد تجددت على يد كلود برنار .

وخارج الكوليج دي فرانس ، تبوأ كلود برنار ، على التوالي ، كرسياً في السوربون ثم في الميزيوم . وانتشرت انجازاته العلمية بفضل نشر محاضراته في سلسلة من الكتب لاقت انتشاراً واسعاً جداً . في الميزيوم ، كان هدفه تطوير الفيزيولوجيا العامة المرتكزة على المعطيات الحديثة المتعلقة بالخلية .

وهذا العمل العظيم تحقق في ظروف مادية ضعيفة جداً . كتب كلود برنار يقول : « عرفت الم العالم الذي يعجز ، بسبب قلة الوسائل المادية ، عن القيام بتحقيق تجاربه التي يتصورها ، فيضطر الى الاقلاع عن بعض البحوث أو الى ترك اكتشافه في حالة الابتداء .

إن هذه الظروف المادية المؤسفة خربت صحته فأصيب في سنة 1865 بمرض خطير أوشك أن يقضي عليه . وفي سنة 1878 عاوده المرض فقضى عليه . وأجبرته النقاهة في سنة 1865 على الانفصال عن مختبره ، فخصص أوقات فراغه المفروضة عليه ، من أجل صياغة قواعد هذه الطريقة التجريبية التي بدأها تحت رعاية ماجندي ، ثم طبقها بنفسه ، وأكملها بشكل خصب للغاية ، في عرض

منهجي . من هنا خرج الكتاب المدهش وهو : « مدخل لدراسة الطب التجريبي » (1865) . وفيه يعرض ما يجب أن تكون عليه عقلية المجرب ، متحررة من كل عقلية مأخوذة بمذهب أو نظام ، وخاضعة دائماً للمراقبة من قبل الشك المنهجي دون الالتفات ، رغم ذلك ، للشكوكية . إن ظاهرات الحياة ، رغم بداهتها الظاهرة تبدو بالتالي مرتبطة بقوانين دقيقة وثابتة ، وقابلة للتنبؤ ، حالها كحال المادة الجامدة . وهكذا تستبعدَ القوة الحيوية والسبب الغائي . وحدها تتدخل الظروف الفيزيائية الكيميائية التي فيها تتم ظاهرات الحياة . والتجريب ، بخلاف ما اعتقد « بيشات » ، يطبق بدقة على الفيزيولوجيا كما على الفيزياء أو على الكيمياء . والشيء الذي يميز الجسم الحي ، هو التوازن بين نشاطات الأجزاء ، ذات المظهر المحكوم بغائية داخلية ، دون أن يفترض ذلك تدخل قوة خاصة فيها . ويتيح الاعتراف بالحتمية الدقيقة الوصول الى التيقن ، والى التنبؤ بتسلسل الظاهرات الحيوية .

ويجب التذكير أيضاً بكتاب فخم هو « تقرير حول التقدم في الفيزيولوجيا في فرنسا » وقد كتب من أجل المعرض الدولي لسنة 1867 ، والذي ينتهي بلفت انتباه السلطات العامة الى ضرورة تأمين أفضل الظروف المادية لخدمة البحث العلمي . وكان الفيزيولوجيون ، وكذلك العلماء في مجالات أخرى ، ينتظرون دائماً تأسيس المختبرات التي كانت ألمانيا قد نظمتها ، وأوقفت حرب 1870 الجهود التي كانت سوف تتكامل . وتلقى كلود برنار من السلطة ومن الهيئات الأكاديمية كل التشريف الذي كان يأمله . وقال عنه ج . ب . دوماس أنه كان الفيزيولوجيا بالذات ، ولخص تلميذه آ. داستر ، سنة 1913 تقريره بما يلي :

« لقد طرد [من الفيزيولوجيا] الأشباح التي كانت تغطيها . كانت الفيزيولوجيا خادمة للطب . فجعل منها علماً قائماً بذاته ، له مناهجه وغايته . لقد أنجز ثورة لا تشك الأجيال الجديدة بها لأن النتائج فيها كاملة الى درجة أنها أصبحت ، بنوع من الأنواع ، جزءاً من عقليتنا ، وأنّه ، بحسب كلمة مونتينيه Montaigne ، نَزَعَ الاعتياد منها غرابتها » .

مدرسة كلود برنار . ـ من بين تلامذة كلود برنار ، كان خليفته في السوربون ، بول برت (1833 - 1886) اشهر تلاميذه . وكان قد ترك أثره بشكل خاص في فيزيولوجيا التنفس ، حين درس تأثير الضغوطات المرتفعة والمنخفضة لغازات الفضاء (الضغط الجوي . بحوث تجريبية ، 1878) ، على الحياة في المرتفعات الكبرى ، وفي الصناديق ذات الهواء المضغوط وفي أثواب الغطاسين ، ومقدار التسمم في الأوكسجين فوق ضغط معين ، ومفاعيل ارتفاع الضغط الفجائي أي زواله ، وما ينتج عن ذلك من انسدادات ، وتأثير المبنجات ، الخ .

وقام أيضاً ببحوث جيلة حول الأبْر (التطعيم) الحيواني . ولخسارة العلم اجتذبت السياسة ب . برت باكراً . فانصرف اليها بعيداً عن البحث العلمي . ويجب هنا أيضاً ذكر اسم أرسين أرسونفال Arsonval (1851 -1940) في مجال تطبيقات الكهرباء على مسائل الفيزيولوجيا .

وكان خليفة كلود برنار في الكوليج دي فرانس أ . براون سيكارد (1817 -1894) وهو ميلاطي ولد في جزيرة موريس ، قد مارس نشاطه تباعاً في فرنسا وفي الولايات المتحدة ودرس بشكل خاص الفيزيولوجيا العادية والباتولوجية في الجهاز العصبي . وفي أواخر حياته جرب على نفسه مفاعيل زرق

خلاصة الأعضاء ، وخاصة الغدد المنوية ، وظن أنه عثر على وسيلة لاعادة الشباب . وهذه التجارب المغامرة نوعاً ما ، لم تثبت فيها بعد . ولكنها ساهمت في القرن العشرين ، في تعزيز الدراسة التجريبية للافرازات الداخلية ، بما سمي علم الغدد الصماء ، والذي أصبح أحد الفصول الأكثر أهمية في الفيزيولوجيا المعاصرة .

ماري Marey وشوفو Chauveau ـ خارج نطاق مدرسة كلود برنار ، هناك مجال للتذكير بعمل ماري (1830 -1904) ، الذي خلف فلورانس في الكوليج دي فرانس . وعكف بشكل خاص ، وبالهام ملحوظ على تحسين وإكمال الطريقة الغرافية لتسجيل النشاط الفيزيولوجي ، وهي تقنية ابتدعها الفيزيولوجي الألماني ك. لودويغ . وأعطى ماري للاجهزة المسجلة حساسية ودقة عاليتين . وقد أتاحت هذه التقنيات بشكل خاص التقدم الكبير في دراسة عمل القلب والرئتين . ووجدت الطريقة الغرافية تطبيقات واسعة ، وهي اليوم إحدى التقنيات الأساسية في مختبرات الفيزيولوجيا . وكان ماري أيضاً الطليعي في مجال السينما التسجيلية . وهذا الاختراع الذي تحقق سنة 1895 على يد الأخوة لويس وأوغوست لوميير Lumière ، في لوين ، قد قدم خدمات كبيرة في المختبرات . ومن أولى انجازاته البيولوجية إعادة تكوين ، ثم تصوير كل التطور الحاصل لمستعمرة من الأسيديات (حيوانات بحرية تشبه القرب وتعيش ملتصقة بالصخور) المركبة (بوتريليدا) ، وعرضها من قبل آ. بيزون Pizon في المؤتمر الدولي للزوولوجيا في برن (1904) . وقد أكمل عمل ماري Marey ، في الكوليج دي فرانس من قبل تلميذه وخليفته فرانسوا ـ فرانك (1849 -1921) .

وكان لماري مساعد في دراسة حركات القلب هو أ. شوفو (1827 -1917) وكان طبيباً بيطرياً في ليون احتل في الميزيوم كرسي الباتولوجيا المقارنة . وفي الفيزيولوجيا تناولت جهوده بشكل خاص الحيوية في عمل الجسم الحي وخاصة دراسة الطاقة التي يستهلكها النسيج العضلي ، ودراسة مصدر هذه الطاقة من الغذاء . وقد سبقت هذه الدراسات في فرنسا ، بدراسات قام بها كل من ج. بكلار (1861) ، ومرسيلين برتيلوت (1865) .

وتلقت الفيزيولوجيا الفرنسية أيضاً مساهمات مهمة من جانب الأطباء أمثال فولبيان (1826 - 1887) وفيما خص الجهاز العصبي هناك مساهمات دوشين دي بولونيه ، وبروكا ، وشركوت ، الخ .

II ـ الفيزيولوجيا في ألمانيا

كان عمر ماجندي ثمانية عشرة عاماً في الوقت الذي ولد فيه جوهانس مولر (1801 -1858) . هذا الفارق في الأعمار ، وكذلك ، أسبقية اتحاد الكيمياء والفيزيولوجيا في فرنسا ، يفسران الأفضلية الترتيبية التاريخية (الكرونولوجية) المعطاة لفرنسا في جدول يحتوي الفيزيولوجيا في القرن التاسع عشر . ولكن مساهمة الباحثين الألمان في نهضة الفيزيولوجيا العلمية ، في العالم أجمع ، كانت ضخمة ، ومتنوعة في توجهاتها ، وحاسمة في مثلها ، وفي تأثيراتها . وإحصاء الأعمال والبحوث ينتظم بداهة

حول اسمين وحول مدرستين ، اسم ج . مولر ، وكارل لودويغ ، وحولهما يتموضع جنود مجهولون ، أو على الأقل أفراد منفردون .

جوهنس مولر وتلامذته .ـ استمد مولر من دراساته في بون ، رؤية فلسفية للحياة فلم ينصرف عنها اطلاقاً ، حتى عندما فصله مروره في برلين ، سنة 1824 ، عن الطروحات الأساسية السائدة في مدرسة فلاسفة الطبيعة . وأصالة مولر الذاتية تكمن في العلاقة بين الفيزيولوجيا وعلم التشريح المقارن (أناتوميا) . وقد أدخل كمشرح ، في سنة 1826 ، الفيزيولوجيا في السيكولوجيا (« حول الفيزيولوجيا المقارنة ، لحاسة البصر عند الانسان والحيوانات ») واضعاً ، بهذه المناسبة قانون الطاقة الذاتية للأعصاب . وفي سنة 1830 جرت الأعمال حول بنية الغدد ، وتطور الأعضاء التناسلية وفقاً لنفس الطريقة المقارنة . وبذات الوقت أجرى مولر تجارب من أجل التأكيد على قانون بل ـ ما جندي Bell-Magendie ، وقادته دراساته حول الفيزيولوجيا العصبية بذات الوقت الى اكتشاف قام به أيضاً مارشال هال Hall حول العمل الانعكاسي في الحبل الشوكي . وتميزت سنة 1833 بأمرين تعيين مولر في برلين ، ونشر القسم الأول من كتاب « المختصر في فيزيولوجيا . . » وهو مجموعة شاملة للفيزيولوجيا في أواخر الثلث الأول من القرن ، وأعيد طبع الكتاب عدة مرات بعد إدخال تعديلات عليه . وكان تأثيره لا مثيل له في القرن التاسع عشر . وقال عنه بوا ـ ريمون أنه كان له بالنسبة الى الفيزيولوجيين في ذلك العصر ، نفس أهمية كتاب هالر « عناصر الفيزيولوجيا » في النصف الثاني من القرن الثامن عشر .

وكان « مختصر » مولر انعكاساً لتعليمه . فقد كان له الهام الحفز الفكري . ومارس تأثيره على نوعين من التلاميذ : من جهة مؤسسو ومبسطو النظرية الخلوية أمثال شوان وفيرشو وهايكل ؛ ومن جهة أخرى الفيزيولوجيون بالذات أمثال بوا ـ ريمون Bois - Reymond وهلمولتز Helmholtz وبروك .

ولا يعود الى مولر تاريخ الحركة الكبرى حول تكاثر ونمو وتجهيز مختبرات الفيزيولوجيا في ألمانيا ، لأنه كان في عمقه أقرب لأن يكون بيولوجياً لا كيميائياً ولا فيزيائياً . ومختبره في برلين لم يكن غنياً في المعدات . ولكن تلاميذه : بوا ـ ريمون وهلمولتز وفيرورد Vierordt ربطوا أسماءهم باختراع آلة وبابتكار تقنية استكشاف في مجال الفيزيولوجيا (عربة ـ محث ؛ المعيان : آلة لفحص داخل العين ؛ راسم النبض (سفيغموغراف)) .

إن الاتحاد الايديولوجي والمنهجي ، الذي عقده مع لودويغ ، في سنة 1846 ، في برلين تلامذة مولر الثلاثة وهم بواريمون وهلمولتز وبروك ، مشتركين في تأسيس « جمعية الفيزياء » (1845) هو الحدث الرئيسي في تاريخ الفيزيولوجيا الألمانية .

كان اميل « بوا ـ ريمون » (1818 -1896) مخترع أدوات وتقنيات في الكهرباء الفيزيولوجية التطبيقية ، طبقت في دراسة وظائف العضلات والأعصاب . وإذا كان ماتوكسي قد أقر بوجود تلاقٍ بين انتاج الكهرباء والتقلص العضلي (1841) ، فإن بوا ـ ريمون قد أبرز ووضح ، تحت اسم التغير السلبي ، وجود قوة كامنة من العمل المولد لتيار العمل . واستخدام الالكترود (المنفذ الكهربائي) غير الاستقطابي يبقى أحد الانجازات العلمية التي حققها بوا ـ ريمون ، وتصوره للطبيعة الفيزيائية الكيميائية

الخالصة للظاهرات الفيزيولوجية قد أوحى له برؤيةٍ فلسفيةٍ للعالم ، بعيدةٍ نـوعاً مـا عن نظرة معلمـه مولر ، وليست بالغريبة عن مماثلة نظرة ماجندي ، ولكنها مصاغةٌ بأسلوب تفخيمي شبه بابوي .

وعلى أساسِ مفهومٍ طاقـويٍ للحياة بُنِيَ عمـلُ هلمهولـتز (1821 -1894) . في سنة 1847 نشر مذكرة بعنوان : « أوبر داي ارهالتونغ در كرافت » تعمم كمبدأ عدم امكانية تدمير الطاقة عند تحولاتها المتعددة . فأعاد بالتالي الى الأذهـان « مذكرة » صدرت سنة 1842 للطبيب ج. ر. ماير (1814 -1878) الذي صاغ قبل جول (1843) التعادل بين الطاقات الميكانيكية والحرارية . وشبه هلمهولتز عمل العضل بمصدر للحرارة الحيوانية (1848) . وفي سنة 1850 كان أول من قاس سرعة نقل الرسالـة العصبية في طول خيط العضل . وأعماله حـول الابصار (مختصر في فيـزيولـوجيا الابصـار 1856 -1866) وحول السـمع (1862) كان لها تأثيرها في تمتين أسس فيزيولوجيا الوظائف الحسية . ومن هـذه الزاويـة يكون عمله واقعاً في الوسط بين عمل فكنـر (1801 -1887) الذي ينفصل قانونه السـيكوفيزيائي (1858) بصعوبة عن الاطار الميتافيزيكي ، وبين عمل وندت ، الذي كان مـساعداً لهلمهولتز وهيدلبرغ . كان هلمهولتز أعظم فيزيولوجي رياضي في القرن التاسع عشر وقد أنهى حياته في كرسي للفيزياء في برلين .

وكان بروك (1819 -1892) استاذاً في فيينا . وقد اهتم ، مثل هلمهـولتز بـالفيزيـولوجيـا الحسية وربط دراسات في التجميل ببحوثه حول الابصار . وكان لودويغ طيلة عدة سنوات زميلاً له في فيينا . وكان سيغموند فرويد أحد أوائل تلاميذه .

لودويغ ومدرسته Ludwig ـ كان كارل لودويغ (1816 -1895) قد تلقى في ماربورغ أول ثقافته الطبية . واتصل فيها بكيميائيين وفيزيائيين وخاصة روبرت بونسن .

وقد علم على التوالي في زوريخ (1849) وفي فيينا (1855) وفي ليبزيغ (1865) . وفي هذه المدينة الأخيرة (في جامعتها) أسس معهد الفيزيولوجيا (1869) الذي سوف يستخدم كنموذج لمعاهد أخرى كثيرة أسـست على نمطه ، في ألمانيا ، وفي أوروبا وخارج أوروبا . وفي هذه المعاهد تم تعليم وتثقيف كل الباحثين تقريباً ، الذين تدين لهم الفيزيولوجيا في نهضتها الدولية في الثلث الأخير من القـرن التاسـع عشر . لم يكن لودويغ معلماً فقط بالنسبة الى الفيزيولوجيين بل كان مهندساً للفيزيولوجيا : اختـراعه للكيموغراف (1846) وتعميم تقنيات التسجيل الغرافي ، وبناء المضخة الزئبقية (1859) ، وأمثالها من الاختراعات التي مكنت الفيزيولوجيا ، من الاستقرار في قسم كبير منها حتى أيامنا . ان العمل العلمي الذي قام بـه لودويـغ قام بصـورة أساسيـة على الاستكشـاف الفيزيـائي الكيميائي لـوظائف الافـراز والامتصاص والدوران . لقد درس نفاذية الكليتين (1843) ، والتنافذ الداخلي (1849) وغـازات الدم أثناء العمل العضلي (1861) ، وضغط الدم داخل الشعريات (1875) .

وإحصاء كل الأسماء الأجنبية ، عدا التلاميذ الألمان ، الذين مروا ، بخلال فترة طـويلة نوعـاً ما ، بمعهد لودويغ ، يتطلب وضع لائحة بالفيزيولوجيا بعد سـنة 1870 . ونحفظ بعض الأسماء فقط : ستشنـوف ، وبافلوف في روسيـا ؛ هورسـلي وسترلنـغ في إنكلترا ؛ وبـوديتش في الولايـات المتحـدة الاميركية ؛ ولوشياني وموسو في إيطاليا ؛ وكريستيان بوهر في الدانمارك ؛ وكريستيان لوفن في السويد ؛ وبول هجر Heger مؤسس معهد سولفي Solvay الفيزيولوجي في بلجيكا .

ويمكن القول أن لودويغ جلب إلى ألمانيا عدداً من الفيزيولوجيين مثل ما جلب فيرشو ـ وهو أعظم وجه في الطب الألماني بعد موت معلمه مولر ـ من الطلاب الى الباتولوجيا .

فلوجر Pflüger وغولتز Goltz ـ إنهما عالمان تميزا ، لأسباب مختلفة ، عن بقية الفيزيولوجيين من جيلهما ، وقد نشأوا في معظمهم في مدرسة لودويغ .

لم يحفظ فلوجر (1829 -1910) عن معلمه بـوا ـ ريمون التصـور الميكانيكي الخـالص لظاهـرات الحياة . إن نوعاً من الحس بالأصالة وبالغائية العضويتين كان يقربه من ج . مولر . وهذا لم يمنعه من استخدام التقنيات الفيزيائية الكيميائية في الاستقصاء لدراسة وظائف التنفس والغذاء . ونحن ندين له بمفهوم الحاصل التنفسي (1877) . وحتى نهاية الأعمال التي قام بها شرنغتون بقيت قوانينه حول تشتت الانعكاسات ، والتي صاغها سنة 1853 ، كلاسيكية . وأسس فلوجر سنة 1869 مجلة علمية مهمة باسم « أرشيف فور داي جيسامت فيزيولوجيا دي مانشن اند در تيار » .

وكان غولتز (1834 - 1902) أول من احتل كرسي الفيزيولوجيا في جامعة ستراسبورغ الألمانية بعد سنة 1870 . ويفسر تكوينه الأساسي كجراح تفضيله للفيزيولوجيا التشريحية والتشريح على الحي من أجل التجريب ، وهو بهذا يقترب من كلود برنار . وقد درس بشكل خاص وظـائف الجهاز العصبي المركزي بعد إجراء استئصال نصف الدماغ ، ونزع الأغشـية عنه ، وذلك على كلب(Der Hund ohne Grosshirn ، 1892) .

وبعكس ما هو حال هيتزيك Hitzig ، وفريـه Ferrier ومونـك Munk ، رفض تقبل سوضعة وظائف التحرك والاحساس ضمن مساحات محصورة بـدقة من الغشـاء الدمـاغي . وبمعاونـة تلميذه وخليفته ايولد Ewald (1855 -1921) انجز (1896) تقنية المقاطـع الطبقيـة في الحبل الشـوكي . وعمل شرنغتون Sherrington بعض الوقت عند غولتز Goltz في سنة 1884 ـ 1885 .

III ـ المدارس الفتية في الحقبة الثانية

في بلدين أوروبيين ، خارج فرنسا وألمانيا ، كـان هناك ، في مطلع القرن التـاسـع عشر ، فيزيولوجيون موهوبون كانت مساهمتهم في معرفة وظائف الجسم الحيـواني لا يستهان بها . ونقصد الانكليز والطليان . ولكن هؤلاء وأولئك كانوا يتصرفون ، فيما خص مناهجهم ومواضيعهم البحوثية ، كوارثين لتراث معين ، لا ككشافين لطرقٍ جديدة . وهذا هو السبب الذي يجعل من غير الضـروري فصلهم عن مجمل الفيزيولوجيين من جنسيـات أخرى الذين ذهبوا يتدربون لدى ماجندي وكلود برنار في باريس ، ولدى مولر Müller وتلاميذه في برلين ، ولدى لودويغ Ludwig في فيـنا وخاصة في ليبزيغ ، عـلى أساليب الاستكشـاف الجديـدة ، وعلى نسق جـديد من العمـل ، قبل أن يؤسسـوا في بـلادهم المختلفة ، مدارس جديدة ، من حيث الانتاجية ومن حيث الأصالة في الأعمال ، كانت تقدم بدورها المعلمين للأجيال الجديدة من الفيزيولوجيين .

الفيـزيولـوجيا في إيـطاليا ـ كـان من المثير للعجب أن لا يؤمن وطن سبـالانـزاني Spallanzani

وغالفاني Galvani لها خلفاً علمياً . إن بحوث غالفاني حول الكهرباء الحيوانية (1780 -1794) التي عارضها فولتا Volta ، وأيدها آ. فون همبولد A. Von Humboldt ، قد استعيدت ووسعت من قبل الفيزيائي نوبيلي Nobili (1784 -1835) الذي بنى في سنة 1825 غالفانومتراً غير « ستاتيكي » ، فكان أول آلة استكشافية حساسة تجاه المفاعيل الكهربائية المصاحبة للتقلص العضلي . وأثبت ماتوكسي Matteucci (1811 -1868) ، سنة 1838 ، فرق الزخم بين عضلة ضفدع والعصب المطابق لها المصاب . وكتابه « محاولة حول الظاهرات الكهربائية لدى الحيوانات » (1840) الذي سلمه ج. مولر J. Müller الى بوا ـ ريمون من أجل الفحص الانتقادي ، حمل هذا الأخير وبشكل حاسم الى السير في طريق الكهرباء الفيزيولوجية .

ولم تبق المدرسة الايطالية بمعزل عن التجديد في الفيزيولوجيا الحاصل في فرنسا وفي ألمانيا . وكان فلاّ Vella (1825 -1886) تلميذاً لكلود برنار ، فمدد بحوث هذا الأخير حول الهضم . وعمل لوشياني (1840 -1919) وموسو Mosso (1846 -1910) في ليبزيغ تحت إدارة لودويغ . واشتهر لوشياني ببحوث حول الجوع ، وحول وظائف المخيخ (1891) . وكان موسو Mosso هو مخترع الارغوغراف (آلة لقياس قدرة العضلة على العمل) (1890) الذي استطاع بواسطته أن يحدد قوانين التعب . واهتم أيضاً ، مثل بول برت Paul Bert ، بظاهرات التنفس في العيش في المرتفعات العالية جداً .

الفيزيولوجيا في بريطانيا .ـ إذا كان الايطاليون قد وجهوا ، في الثلث الأول من القرن التاسع عشر ، عبقريتهم نحو استكشاف وظائف العصب والعضلة ، بواسطة الظاهرات الكهربائية التي تظهر عليهما ، فإن الفضل يعود الى الفيزيولوجيين الانكليز ، من نفس الحقبة ، في اكتشاف أساسات سبل التوصيل الواردة والصادرة والوظيفة الانعكاسية والتي يقوم بها الحبل الشوكي . ونحن مدينون لشارل بل انه ميز الفرق الوظيفي بين الجذور البطنية والظهرية في العصب الفقاري (1811) ، ومدينون الى مارشال هال (1790 -1857) انه أثبت بصورة ايجابية وجود الانعكاس (وظيفة الانعكاس في الميديلا أوبلونغاتا والميديلا سبيناليس ، 1833) الذي كان قد وضع مفهومه ، في القرن الثامن عشر ، كل من استروك وويت وبروشسكا . كان و. شاربي (1802 -1880) ، وم. فوستر (1836 -1907) مع فرييه (1843 -1928) المشهور بأعماله حول الأماكن الوظيفية في القشرة الدماغية (المساحة المحركة ، 1876) ، أهم فيزيولوجيين في حقبة وسيطة ، ذهب بخلالها باحثون شبان يتعلمون في قارة أوروبا التقنيات الجديدة في الفزيولوجيا .

كان ستيرلنغ (1851 -1932) ، الذي اكتشف اثارة العضلات بواسطة التهيج الكهربائي ، كما كان هورسلي (1857 -1916) ، الذي درس بصورة تجريبية ، وبشكل مشابه لدراسة مورتز شيف ، حول وظائف الغدة الدرقية ، تلميذين للودويغ .

ودراسة وظائف الجهاز العصبي التي سماها بنفسه « مستقلة » والتي ميزها الى قسمين الحبي المستقيم (أورتوسامباتيك) ؛ والحبي الهامشي (باراسامباستيك) ، مدينة بالكثير الى لانغلي (1852 -1925) .

واسم شيرنغتون (1859 -1952) وأعماله حول صلابة نزع الدماغ (1897) ، وحول التعصيب

المتبادل ، ومراجعته لنظريات الانعكاس ، المؤدية الى مفهوم الوظيفة التكاملية في الجهاز العصبي (1906) ، كل ذلك هيمن من بعيد على السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر .

ويجب أن نذكر أيضاً بايليس Bayliss (1860 -1924) وستارلنغ (1866 -1927) اللذين اشتركا بحكم الصداقة في البحث . واكتشف بايليس السكرتين (هرمون معوي يحث البنكرياس والكبد على الإفراز) (1902) ، وهو أول هرمون نموذجي بالمعنى الدقيق للكلمة التي اخترعها ستارلنغ (1905) .

الفيزيولوجيا في روسيا .ـ كان ك . أ . فون باير مؤسس علم الأجنة الحديث . وقد أمّن في بداية القرن التاسع عشر شهرة جامعة سان بطرسبرغ التي استدعته .

ولكن تحت تأثير علماء من أصل روسي ، تأسست مدرسة فيزيولوجية حديثة وتطورت في روسيا على غرار المدارس الفرنسية والألمانية واستيحاءً منها . كان تارشانوف (1848 - 1909) استاذاً في سان بطرسبرغ بعد أن عمل عند كلود برنار : واليه يعود الفضل في اكتشاف الانعكاس « السيكوغالفاني » . وكان سيتشنوف (1829 - 1905) استاذاً في أوديسا وفي موسكو ، بعد أن كان تلميذاً للودويغ وقد اكتشف التعطيل المركزي للانعكاسات المخية اللبية (1863) . وكان من تلاميذه بافلوف (1849-1936) الذي كان قد عمل أيضاً عند لودويغ . وابتكر بافلوف سنة 1890 تقنية فيزيولوجية لدراسة الافراز المعدوي : المعدة الصغيرة أو جيب بافلوف . ومكنته هذه التقنية حول علم الانعكاسات في ما خص الافرازات من تحليل وظائف الغشاء الدماغي ، بمقدار ما هو حلقة اتصال بين الانعكاسات الحسية والحركية . وأعماله حول الانعكاسات الشرطية ، بفضل أجهزة تحليل وتمييز دقيقة للاثارات (دورة الصمت) هي التي أعطت المجد لبافلوف ،ومكنته من نيل أول جائزة نوبل تقدم لفيزيولوجي (1904) . وأعماله هذه اجتذبت الى مختبره العديد العديد من الطلاب ، وأعطت للفيزيولوجيا الروسية المعاصرة نسقها العلمي الأصيل .

الفيزيولوجيا في الولايات المتحدة الاميركية .ـ ان الملاحظات حول حركات المعدة والافرازات المعدوية (1833) التي قام بها و. بومونت (1785 -1853) هي أفضل مساهمة أميركية في الفيزيولوجيا في الثلث الأول من القرن التاسع عشر .

تأسست الجمعية الاميركية للفيزيولوجيا سنة 1887 على يد باحثين شبان كانت قد اجتذبتهم الى أوروبا شهرة كلود برنار أو لودويغ ، فأسسوا في بعض الجامعات ، في الولايات المتحدة ، مختبرات ومعاهد للبحوث سرعان ما تكاثرت . ومد ج . ك . دالتون (1825 -1889) يد المساعدة ، في بوفالو للتقنيات العملية التي ابتكرها كلود برنار . وأسس بوديتش (1840 -1911) ، تلميذ لودويغ ، مختبر الفيزيولوجيا التجريبية في جامعة هارفارد في بوسطن (1871) . ونحن ندين له بإثبات لا تعبية العصب ، وقانون « كل شيء أو لا شيء » في إثارة العضلة القلبية . وكان من تلاميذه هـ . كوشن (1869 -1939) الذي درس وظائف الغدة النخامية والهيبوتالاموس (Hypothalamus) . وو. ب. كانون (W.B. Cannon) (1871 -1945) الذي اشتهر بتصوره « للانضباط الذاتي » (Homéostasie) .

IV ـ تقنيات الفيزيولوجيا ومشاكلها في القرن التاسع عشر

إنه من خلال بناء أدوات ، ومن خلال الاستعمال المنهجي لتقنيات الاستكشاف والقياس ، أكثر مما هو الاهتمام بالتجريب ، تميزت فيزيولوجيا القرن التاسع عشر عن فيزيولوجيا القرن الثامن عشر . وبفضل الاعتراف الأعمى للفيزياء وللكيمياء بأنهما علمان رائدان ، استطاع الفيزيولوجيون أن يعتمدوا في دراسة مسائل البيولوجيا تقنيات التحليل والقياس التي قدمت في مجال الظاهرات غير العضوية البراهين على صحتها . ومن وجهة نظر المعدات الفيزيائية ، يعود الحفز الى بوازيه Poiseuille (1799 - 1869) .

ومن وجهة النظر المتعلقة بالتقنيات الكيميائية ، يعود الحفز الى ج . فون ليبيغ (1803 -1873) . إذا كانت الفيزيولوجيا قد تكونت في القرن التاسع عشر بفضل اتحاد هذين النسقين في البحث ، فذلك أنه ، منذ أعمال لافوازيه Lavoisier ولابلاس Laplace ؛ كانت مسألة المصادر وقوانين استخدام الطاقة المحررة بفضل التأكسدات هي المسألة الأساسية في حياة الأجسام الحية .

نأخذ مثلاً من أعمال أ . ج . ماري : تناولت هذه الأعمال دورة الدم (1863، 1881) وتناولت فيزيولوجيا الحركة أو الانتقال (1868، 1873، 1894) . وقبل أن يأخذ ماري Marey عن علم الفلك (جانسن ، باريس ، 1874 : دراسة حول انتقال الزهرة أمام الشمس) تقنية التصوير الضوئي الفوتوغرافي ، كان ، بالتعاون مع صديقه البيطري آ . شوفو ، قد زكى طريقة التسجيل الغرافي . وكان السفيغموغراف المقارن الذي وضعه ماري تحويراً من سفيغموغراف فيرورد Vierordt (1853) . هذه الآلة كانت بذاتها مزيجاً من السفيغمومتر القديم ومن الأسطوانة التسجيلية التي أضافها لودويغ في كيموغرافه الشهير سنة 1846 ، الى الهيمادينامومتر الذي صنعه بوازيه سنة 1827 . هذه الآلة الأخيرة ، إذ وصلت مباشرة بالأوعية الدموية ، كما في الماضي بالنسبة الى مانومترات ستيفن هالس ، إنما بواسطة محلول ضد التخثر ، أتاحت لبوازيه أن يحقق البحوث الأولى في الفيزيولوجيا الوضعية والأدواتية في القرن التاسع عشر (حول قوة القلب الأورطي ، 1828) . ومن بوازيه الى ماري Marey ، وعبر لودويغ وفيرورد ، كان المفعول المتبادل للتقنية وللبحث أحد أفضل الأمثلة في النسق العلمي في فيزيولوجيا القرن التاسع عشر . ولم يخطىء ماجندي حول أهمية أعمال بوازيه ، وهو من سماه في كتابه « دروس حول الظاهرات الفيزيائية في الحياة » (1842) ، « الفيزيولوجي الفيزيائي الشاب » .

وإذا كانت فرنسا ، بفضل بوازيه ودوتروشي ، محل ولادة الفيزيولوجيا الفيزيائية ، فإن ألمانيا ، بفضل فون ليبيغ ، كانت الأرض الأكثر خصباً حيث نمت في البداية في الكيمياء البيولوجية . وبعد دراسات حول الصيدلانية ، جاء ليبيغ يعمل في فرنسا (1822 -1823) تحت رعاية غي لوساك ، وبيلوز ودوماس . وعيّن في بادىء الأمر معاوناً سنة 1824 ، ثم استاذاً سنة 1836 للكيمياء في غيسن . وبعدها جعل ليبيغ من هذه الجامعة الصغيرة نقطة جذب لكل الكيميائيين في أوروبا . وكان مختبره ومعهده كنموذجين لمؤسسات البحوث التي تكاثرت فيها بعد في ألمانيا . وكان مؤسس « حوليات الكيمياء والصيدلة » .

ويكفي القاء نظرة على كتاب تبسيطي نشره ليبيغ سنة 1851 بعنوان « رسائل جديدة حول الكيمياء » (من 31 الى 35) لكي يكون المرءُ فكرة حول مسائل الفيزيولوجيا التي زعم ليبيغ وبحق أنه أسسها بصورة ايجابية على أعمال في الكيمياء العضوية : التنفس والحرارة الحيوانية ، الدور الحيري والطاقوي للأطعمة ، تأثير الأملاح على التغذية ، تركيب المواد الآزوتية في التكوين الحيواني ، مفاعيل الأنظمة الحيوانية . وقد استطاع أن يكتب ما يلي :

« ترتكز الفيزيولوجيا حتماً على أساس مزدوج : على الفيزياء الفيزيولوجية ، المرتكزة بذاتها على التشريح ، ثم على الكيمياء الفيزيولوجية ، المشتقة من الكيمياء الحيوانية . ومن دمج هذين العلمين ينبثق علم جديد هو الفيزيولوجيا الحقة التي تُكَوِّن بالنسبة إلى العلم الذي نطلق عليه اليوم هذا الاسم ، ما تشكله الكيمياء الحديثة بالنسبة إلى كيمياء القرن الماضي » .

إن كتب ليبيغ الأولى الكبرى كانت : « الكيمياء العضوية المطبقة على الفيزيولوجيا النباتية وعلى الزراعة » (1840) ، و« الكيمياء العضوية المطبقة على الفيزيولوجيا الحيوانية وعلى الباتولوجيا » (1842) . وهذا الكتاب الأخير كان معاصراً تماماً لكتاب « دروس حول الظاهرات الفيزيائية في الحياة » وكان يتنافس مع تعليم ماجندي من أجل نزع الثقة ، على أساس البرهان التجريبي ، من الطروحات الحيوية ، وذلك بإثبات أن الطاقة ذات المنشأ الغذائي ، والمكَيَّلة بالقيم الحرارية المختلفة للمواد الغذائية ، هي السبب الايجابي للظاهرات البيولوجية الأساسية .

في كتاب « حوليات حول الكيمياء والصيدلة » الذي نشره ليبيغ سنة 1842 وجدت الدراسة النظرية التي وضعها ج . ر. ماير بعنوان (بمركونجن أوبر داي كرافت در انولبتن ناتور) . وفيها يعلن أول مبدأ من مبادىء الترموديناميك ، قبل مذكرة هلمولتز (1847) .

إن دراسة الظاهرات وصياغة قوانين الطاقة البيولوجية قد استكملت فيما بعد ، سواء في فرنسا أو ألمانيا ، وعملت على جمع الفيزياء والكيمياء بشدة . في سنة 1848 شبه هلمولتز العضل بمصدر الطاقة . وفي سنة 1861 نشر بكلار بحوثاً تجريبية حول علاقة التقلص العضلي بتوليد الحرارة . وفي سنة 1849 نشر رينيوه وريست « بحوثهما الكيميائية حول تنفس الحيوانات » وفيهما درسا التغيرات لما سماه فلوجر الحاصل التنفسي (1877) . وصاغ مارسيلين برتيلوت ثم نسق قوانين الطاقة الحيوانية في كتابه « محاولة في الميكانيك الكيميائي » (1879) مسبوقةً بمذكرة « حول الحرارة الحيوانية » (1865). وأخيراً قام روبنر Rubner، واتوتر Atwater وبندكت بتعميم البحوث التي تمت طيلة نصف قرن ، بعد تأكيدها في سنة 1904 .

ومهما بدت خصبةً ، (في مجال الفيزيولوجيا) . التقنياتُ التحليليةُ المأخوذةُ عن الفيزياء وعن الكيمياء ، فإنها لم تكسف أو تحل محل هذه الطريقة في البحوث التي سماها كلود برنار الفيزيولوجيا العملانية ، والتي استعارت أسلوب التشريح على الحي ، وإعادة التشريح أو إستئصال أعضاء ، من أجل استحداث اختلالات في بنية الجسم الحيواني وفي طبيعة الوظائف في الجسم السليم . هذه الطريقة التقليدية ، كانت ، في بداية القرن التاسع عشر ، طريقة ليغالوا Legallois وماجندي Magendie . واستمرت متبعة عند فلورنس Flourens. وقرنها فريتش Fritsch وهيتزيغ Hitzig بتقنية التحفيز

الغالفاني (نسبة الى غالفاني Galvani) [السبري ، المجمي] للقشرة [الدماغية] من أجل تمييز الوظائف المحركة عن الوظائف الاحساسية في الجيوب الدماغية (1870) . ولم يشأ غولتز أن يتعرف على طريقة أخرى .

إن غالبية الأعمال حول الغدد ذات الافراز الداخلي بحثت ، في بادىء الأمر ، في استئصالات الأعضاء ، عن عناصر تفسير وظائفها . هكذا عمل برون ـ سيكار Brown-Séquard ، بالنسبة الى الغدد فوق الكليتين (1856) وموريتزشيف Moritz Schiff بالنسبة الى الغدة الدرقية (1859و1883) ، وي. غلي E. Gley بالنسبة للغدد المجاورة للدرقية (1891) . ولكن قبل العثور كيميائياً على العناصر الناشطة في الافرازات الداخلية (الأدرينالين على يد تاكامين Takamine سنة 1901 ، والتيروكسين على يد كِندال Kendall سنة 1914) ، طُلِبَ البرهان التجريبي للأثر الكيميائي للغدد الصماء ، في مجال تقنية زرع الاعضاء . إن حركة آ. آ. برتهولد حين زرع خصيتي ديك في تجويفه الاحشائي سنة 1849 وكرر ذلك ، من غير تقليد ، شيف حين زرع الغدة الدرقية من كلب في كلب آخر استئصلت منه فيما بعد غدته الدرقية ، كانت أول مثل لعملية تجريبية أصبحت كلاسيكية في أواخر القرن .

وتلاقت تقنيات الفيزيولوجيا العملياتية مع التقنيات الجديدة في الفيزيولوجيا الكهربائية من أجل التمييز التوبوغرافي لمختلف الضمائم الوظيفية في الحبل الشوكي ، ومن أجل وضع أطلس لوظائف الدماغ . وانه على أساس تقنيات عملياتية ذات دقة بالغة ، وعلى أساس « استعدادات » متنوعة (حيوان نزعت غشاوة دماغه ، أو نزع دماغه أو حبله الشوكي) تركزت اكتشافات شيرنغتون . وفي دراسة وظائف « الودي » ، سبق التشريح على الحي التجريب الكيميائي الذي استخدمه لانغلي ؛ وبفضله أثبت كلود برنار دور الجهاز الحبي في إشاعة الحراريات عن طريق تنظيم الدفق الدموي في الشعيريات (1854) .

وفيزيولوجيا الهضم مدينة في تقدمها أيضاً للطريقة العملياتية . إن المراقبة التي قام بها و. بومونت W. Beaumont لرجل أصيب بجرْح من سلاح ناري ، تسبب له بقرحة في المعدة ، أوحت بآن واحد ، وعلى حدة لـ ف. آ. باسوف (موسكو ، 1842) ولـ بلوندلوت Blondlot (نانسي، 1843) فكرة القرحة المعدوية المستحدثة تجريبياً . إن هذه التقنية قد كررت واستكملت من قبل بافلوف (1890) .

* * *

إن الفيزيولوجيا في القرن التاسع عشر التي كانت في بعض الأحيان كثيرة الاحترام والتقيد بخصوصية الوسائل ، ان لم يكن بقوانين الحياة ، كما عند كلود برنار ، والتي كانت أحياناً كثيرة الخضوع لقانون الفيزياء والكيمياء ، كما عند لودويغ ، والتي كانت أحياناً أكثر اجتهاداً في تطبيق نموذج رياضي ، كما عند هلمهولتز قد أظهرت مع ذلك نوعاً من الوحدة في الاستلهام وفي المشروع المبتغى . إنها علم ثوابت عمل الأجسام الحية . ومن دلائل تشكلها ، من ماجندي الى شيرنغتون والى بافلوف ، كعلم قائم بذاته ، كثرةُ الحالات التي استقلت فيها البحوث واستعيدت ، وكذلك الاكتشافات التي

أجريت مستقلة أو متكررة ، بدون نزاع على الأسبقية أو معها . ان تاريخ الفيزيولوجيا قد استقل نسبياً عن تاريخ علماء الفيزيولوجيا . وليس من المهم مَن ـ مِن بل أو من ماجندي ـ اكتشف حقاً ، في الأول ، وظيفة الجذور الفقارية ، ومَن ـ مِن مارشال هال أو ج. مولر ـ اكتشف الأثر الانعكاسي ، ومَن ـ مِن بوا ـ ريمون أو هرمان ـ اكتشف تيار العمل العضلي ، وَمَن ـ مِن فريه Ferrier أو مونك ـ اكتشف مساحة الكظر (أو قشرة الدماغ) البصري . ومنذ الوقت الذي تواءمت فيه التقنيات والقضايا وبعث بعضها بعضاً ، وحيث أخذت الأدوات تتخصص وتتعقد حتى يتلاءم استخدامها مع فرضيات العمل ، يتوجب القول ان العلم قد صنع العلماء بقدر ما صنع العلماء العلم . وعندما يتعلق البحث بالمهنة ، ويستطيع ، عند الضرورة ، أن يستغني ، ولو لوقت قصير ، عن الهوى ، عندها يستحق العلم التجريبي اسمه .

الكتاب الثاني

تكون الأشكال

الفصل الأول

التشريح المقارن للفقريات

I ـ جورج كوفيه G. Cuvier وتطور علم التشريح المقارن

الطليعيون أو الرواد ـ يمكن اعتبار كوفيه (1769 -1832) ، بمعنى من المعاني ، كمؤسس علم التشريح المقارن ؛ بمعنى فقط ، إذ في عمل أرسطو ، وبصورة خاصة في كتابه « أقسام الحيوانات » نجد هذه المقارنة بين الأعضاء، وهي موضوع التشريح المقارن بالذات ، بقصد البحث عن قوانين التنظيم . ويمكن العثور أيضاً على سابقين أقرب ، لقد أشار بوفون الذي لم يكن عالماً تشريحياً الى الأهمية التفسيرية للمقارنة :

« أية معرفة حقيقية يمكن استخلاصها من موضوع بمفرده ؟ إن أساس كل علم ، ألا يقوم على المقارنة التي يستطيعها العقل البشري ، حول المواضيع المتشابهة والمتنوعة ، وحول خصائصها المتشابهة أو المتضادة ، وحول خصائصها النسبية كلها ؟ » .

ويضم دائماً الى الوصف الخارجي للأنواع الوصف الداخلي ، الوصف التشريحي . إن هذا الوصف الأخير ، كما هو معلوم ، هو من صنع مساعد بوفون ، المسمّى دوبنتون Daubenton الذي طبق بشكل كامل ، أفكار بوفون Buffon ، وقد حاول أن يسمي بنفس الاسم نفس الأجزاء في الانسان والحصان . وانتقد شكل عمل سابقيه ، فكتب يقول :

« إن هذه الطريقة (أي الطريقة التي تُعطي الأسماء الخاصة لأجزاء الحصان) يمكن أن تعتبر مقبولة عند الذين يعالجون فقط الحصان . ولكنها تحتمل عقبات أمام التاريخ الطبيعي ، عندما يراد مقارنة كل الحيوانات بعضها ببعض » .

ومع هذا ، لم يتم التوصل على كل حال الى علم التشريح المقارن ، لأن تقريب الأوصاف لا يمكن أن يتم إلّا بحسب الأنواع . وعثر فيك دازير Vicq d'Azyr على مفهوم أرسطو القديم ، وبموجبه توضع الأوصاف تبعاً للأعضاء ، فأوجد بحق هذا العلم . وكما كتب فلورانس Flourens : « العضو هو الموضوع الذي تجب مقارنته في علم التشريح ، كما أن النوع هو الموضوع في الزوولوجيا . . . » .

· **التشريح المقارن عند كوفيه** . ـ وسع كوفيه هذه المقارنة المستندة الى الأعضاء فأشملها كل الحيوانات الفقرية . نذكر في بادىء الأمر أنه لم يبحث في تتبع التغيرات في مجمل المملكة الحيوانية ، لا جهلاً ببنية غير الفقريات ، كما فعل زميله لامارك ـ فقد درسها بشكل معمق ـ بل لأنه ميز بين أربعة تصاميم بعيدة بعضها عن بعض : تصميم الفقريات ، تصميم الرخويات ، تصميم ذات المفاصل ، تصميم إشعاعي .

وبالإقتصار على الفقريات فقط ، من الممكن استخلاص القوانين الكبرى في تنظيمها . وهناك موضوع أساسي يسيطر على كل هذا البحث : وهو « مبدأ الترابط العضوي » .

إن مبدأ الترابط هذا يستعيد الفكرة الأرسطية حول تناسق الوظائف وترابط كل أجزاء الجسم من أجل القيام بالوظائف المطلوبة . وهذا المبدأ تنبأ به بوفون الذي كتب بمناسبة « طبيعة الطيور » يقول « لو كانت الطبيعة عندما أعطتها سرعة الطيران ، جعلتها قصيرة الابصار ، لكانت هاتان الخاصيتان متناقضتين . . . ولو ان الطبيعة أنتجت طيوراً ذات رؤية قصيرة وذات سرعة طيران سريعة جداً ، لتلفت هذه الأنواع بفضل تناقض الصفات ، التي لا تمنع فقط عمل الأخرى ، بل تعرض الفرد لمخاطر لا حصر لها ، ومن هنا نستنتج أن الطيور ذات الطيران الأقصر والأبطأ هي ايضاً ذات البصر الاقل طولاً » (مجلد 16 ص 8-9) .

هذا المفهوم عبر عنه أيضاً بوضوح أكبر فيك دازير Vicq d'Azyr ، ولكن كوفيه هو بحق الذي جعل منه ـ عند صياغته بشكل أكثر وضوحاً ، وعند تطبيقه إياه على تركيباته الاحاثية (أي المتعلقة بأشكال الحياة في المتحجرات) ـ المبدأ الموجه في علم التشريح المقارن وفي علم الاحاثة (Paléontologie). ان مبدأالترابط يرتكز على فكرة أكيدة مفادها أنه في الكائن الحي ، لا تتراكم الأعضاء ببساطة ، بل يؤثر بعضها في بعض وتتعاون من أجل عمل مشترك .

« كل كائن حي يشكل مجموعاً أو نظاماً وحيداً ومغلقاً ، تتطابق أجزاؤه وتتفاعل في نفس العمل ، بردات فعل متبادلة . ولا يمكن لأي جزء أن يتبدل دون أن تتبدل الأجزاء الأخرى أيضاً وبالتالي إذا أخذ على حدة ، يدل ويعطي كل الأجزاء الأخرى . . . إذا كانت أمعاء حيوان ما قد نظمت بشكل بحيث لا تهضم إلا اللحم النيىء ، فيتوجب أيضاً أن يكون فكاه مبنيين بحيث يلتهم الفريسة ، وتكون مخالبه بحيث تمسك بها وتمزقها ؛ وتكون أنيابه بحيث تقطعها وتقسمها ؛ ويكون الجهاز كله المتعلق بأعضاء الحركة بحيث يلحق بها ويمسك بها ؛ وتكون أعضاؤه الحسية بحيث يراها من بعيد ؛ ويتوجب أيضاً أن تكون الطبيعة قد وضعت في دماغه الغريزة ليعرف كيف يختبىء وينصب الأشراك للفريسة . تلك هي الشروط العامة في جنس آكلات اللحم . . . كل هذه الشروط يجب أن تتناسق بدقة فيما بينها ، فإذا فقد أحدها فالجسم يتوقف عن العمل ويهلك الحيوان .

وإن نحن نظرنا الآن الى حيوان آكل للعشب فإننا نلاحظ أن مجموع هذه الشروط يتغير : الاسنان والمعدة وأعضاء الحركة ، والأمعاء ، والحواس ، تتخذ أشكالاً جديدة ، ولكن العلاقات الضرورية تبقى تربط الأعضاء فيما بينها ، فيكون هناك ترابط . ومن شكل أحد هذه الأجزاء ، من شكل الأسنان مثلاً ، يمكن أن نستخلص شكل اللقمة [أي شكل النتوء المفصلي في طرف العظم] وشكل أعضائه الهضمية » (ج . كوفيه : خطاب حول ثورات العالم » (1812)).

إن مبدأ الترابط لا يطبق بنفس الدقة على كل أجزاء الجسم .

« وحتى الطبيعة تبدو وكأنها تلعب لعبة لا تنتهي من خلال كل الأقسام الثانوية . إن هذه الأخيرة لا تحتاج إلا إلى شكل والى توفر شرطٍ ما ضروريٍ . ويبدو ، حتى في أغلب الأحيان أن هذا الشكل لا يحتاج لأن يكون مفيداً لكي يتحقق : يكفيه أن يكون ممكناً ، أي أن لا يحطم انسجام المجموع ؛ ونجد أنفسنا ، ونحن نبتعد عن الأعضاء الرئيسية ونقترب من الأعضاء الأقل أهمية ، أمام تشكيلات متنوعة ومتعددة جداً ؛ وعندما نصل الى الخارج الى المظهر ، الى حيث تقضي طبيعة الأشياء بوجوب تحديد موضع الأجزاء الأقل أهمية أساسية ، عندها يصبح عدد التشكيلات ضخماً الى حدٍ عجزت معه حتى الآن كل أعمال علماء الطبيعة ، عن إعطاء فكرة عنه » .

معنى مبدأ الترابط ـ منذ بلانفيل Blainville تناقش علماء الطبيعة كثيراً حول قيمة وحول أهمية مبدأ الترابط ، وذلك من أجل حصر مجالات التطبيق ، ومن أجل الاشارة الى نواقصه وشكوكه ولكن لا يبدو أنهم لامسوا المعنى الفلسفي . إن هذا المبدأ قد لعب مع ذلك دوراً ضخماً في حركة فكرية قلما اعتاد العلماء على ربط كوفيه بها : ألا وهي الحركة العقلانية .

ومن العودة إلى صفحات «فلسفات كلاسيكية في القرن التاسع عشر» حيث يحلل تين Taine مفهوم السبب ، ويحاول الرجوع الى القانون المولد ، الى « القاعدة الخالدة » « أو البديهية الأولى » . ان هذه الصفحات تستلهم أفكار كوفيه حول مبدأ روابط العلاقات ، فتعيد إخراجها في بعض المقاطع ، كلمة كلمة . وبين أ. ميرسون Meyerson تماماً أن طريقة كوفيه لا تقتصر على الوصف فقط ؛ إنها تهدف الى وضع نظرية عقلانية للمعرفة العلمية فهي تبحث عن تحديد العلاقات التي من شأنها أن تبين وان توضح ، وبنفس المستوى الذي تبينه وتمتاز به الرياضيات . ومسار طريقة كوفيه استقرائي بصورة أساسية .

في العمق ، هذا ما يبدو لنا ، إنه يميز عمل كوفيه التشريحي ، وفكرته البيولوجية ؛ انه يضع دائماً في المقام الأول الناحية الوظيفية . وبهذا يتعارض مع التشريح المورفولوجي الخالص (الشكلي) الذي قال به جوفروا سانت ـ هيلير « وفلاسفة الطبيعة » ، ويقترب من تراث أرسطو . والفقرة التالية تعبر بالشكل الأكثر كمالاً عن هذه الحالة الفكرية :

« إن الطبيعة التي لا ينفدُ خيرها وخصبها ، والقوية جداً في انجازاتها ، هذا اذا أغفلنا ما تقتضيه من التناقض ، لم تتوقف عند المقارنات التي لا تعد ولا تحصى ، بين الأشكال العضوية والوظائف التي

تؤلف المملكة الحيوانية ، إلا في اللامتلائمات الفيزيولوجية ؛ لقد حققت كل التركيبات التي لا تعارض فيها ، وهذه التعارضات ، وهذه المتناقضات ، وهذه الا ـحالة التي تمنع تعايش هذا التغيير مع تغيير آخر هي التي تقيم بين هذه المجموعات المتنوعة من الكائنات ، هذه الفوارق ، وهذه الثغرات التي تشكل الحدود الضرورية » (كوفيه ، « دروس في التشريح المقارن ») .

إن مبدأ شروط الوجود يستخلص من مبدأ الترابط .

وفي ضوء التشريح المقارن يعالج كوفيه المسائل الكبرى موضوع النقاش في زمنه : سلم الكائنات ، المقارنة بين الجنين في الثدييات وبين الراشدين من الفقريات البيضية ، وحدة التصميم .

سلم الكائنات . ـ في بداية القرن التاسع عشر ، كان الإيمان بوجود سلم كائنات ، ما يزال قوياً لدى عدد من علماء الطبيعة . وعارض كوفيه مثل هذا النمط من الترابط . وأشار الى أنه إذا نظرنا الى كل عضو بمفرده ، وإذا تتبعناه في كل أصناف طبقته ، نجده يتغير فعلاً بوتيرة غريبة فريدة . ونراه يتحول الى شبه أثر ، في الأنواع التي لا تحتاجه ولا تستعمله « بحيث أن الطبيعة تبدو وكأنها لم تبق عليه إلا لتبقى أمينة للقانون القاضي بعدم القفز » . ولكن الأعضاء لا تتبع كلها نفس المسلك في التغيير : فمثل هذا العضو نجده في أعلى درجات الكمال في صنف معين فيما نجد عضواً آخر يكون كذلك في صنف آخر مختلف . بحيث أننا لو أردنا ترتيب الأصناف سنداً لكل عضو ، فهناك مجال لوجود عدد من السلاسل بعدد الأعضاء المتخذة كمعيار منظم . فضلاً عن ذلك أن هذه السلسلة من الكائنات المتزامنة والمتنوعة لا يمكن أن توجد إلا في الخيال .

إذ ، كما أن « أجزاء كل كائن ، يجب أن تكون في ما بينها على نوع من الانسجام ، وهو شرط ضروري لوجودها ، فمن الواجب أيضاً أن تكون الكائنات فيما بينها في إنسجام مماثل حفاظاً على نظام الكون . إن الأصناف هي ضرورية جميعاً لبعضها البعض ، بعضها كفريسة ، وبعضها الآخر كمدمر أو ككابح للانتشار . ولا يمكن بتعقل تصور حالة شيء يكون فيها وجود الذباب بدون وجود سنونو وبالعكس » (دروس في التشريح المقارن ، مجلد 1 ص 102) .

إن مبدأ الترابط يجد هنا كماله . ولا يكفي أن تكون الأجزاء في الكائن متجانسة فيما بينها ، بل يتوجب أن تكون الكائنات فيما بينها ذات إنسجام مماثل . والى الترابط الداخلي يجب أن يضاف الترابط الخارجي .

نظرية التوازي . ـ ذكر اتيان جيوفروا سانت هيلير أنه إذا كان الجنين في الثدييات يشبه في تكاثر عظامه وفي جمجمته التكاثر الملحوظ في جمجمة الفقريات البيضية الراشدة ، فإنه يستنتج من ذلك أن الطبقات الدنيا من الفقريات هي بنوع من الأنواع الجنين في العليا . ولا ينازع كوفيه بصورة كاملة هذه الكيفية في الرؤية ، ولكنه يرفض التعميم الذي أريد به نشر هذا المبدأ ليشمل الحيوانات الأكثر انحداراً . ان نطفة الثدييات تظهر في بداية تطورها بشكل مستطيل ، فزعموا أنها دودة أو حشرة . بحيث أن الثديي قبل أن يصل الى مرحلته النهائية ، قد مر بأشكال كل الحيوانات الأخرى ؛ ان الحيوان الكامل يحتوي كل الحيوانات الأخرى . وقد عاب كوفيه هذا بحكم مبتور فقال :

« إن هذه الأفكار التي تتكيف وتتلاءم مع أنظمة ميتافيزيكية كان لها انتشار بعض الوقت في ألمانيا ، حيث سيطرت فيها وسادت . وقد تم بسهولة عرض الوقائع التي تبدو ملائمة لها ، كما هيمن الصمت على الأفعال التي تغيرها ، الى أن جاء أخيراً رجال أشد دقّة في ملاحظاتهم ورقابتهم ، فأبرزوا من جديد الحقيقة . ولكن هذه الأفكار مهما كانت مضلّلة ، فإنها تحتمل شيئاً ما من الممكن ، وهي تشكل مجموعاً عالياً مرتبطاً بمفاهيم فلسفية عليا . . . » (دروس في التشريح المقارن ، مجلد 1 ص 62) .

وقد حارب كوفيه بعنف مبدأ وحدة التصميم وكان هنا مجال الفرصة لنقاش شهير جرى بينه وبين جوفروا سانت هيلير؛ ونتكلم عن هذا بعد دراسة عمل هذا الأخير .

II ـ العمل التشريحي الذي قام به اتيان جوفروا سانت هيلير

نجد ، مع اتيان جوفروا سانت هيلير محاولة لاقامة علم تشكيلي خالص . وهو بهذا ينضم ، مع بقائه على صعيد علمي خالص ، الى المفهوم السائد لدى فلاسفة الطبيعة . ومنذ 1797 ، وفي سن الثالثة والعشرين ، أعلن في أحد كتبه الأولى ، آراءه حول وحدة التركيب العضوي ؛ كتب يقول :

« يبدو أن الطبيعة . . . لم تكون كل الكائنات الحية الا وفقاً لتصميم موحد ، مشابه لذاته ، بشكل أساسي ، من حيث مبدئه ، ولكنها نوعت بآلاف الأشكال الأقسام الثانوية . . . . وهذه الأشكال ، في كل طبقة من طبقات الحيوانات ، مهما تنوعت ، تنتج كلها ، أساساً ، من أعضاء مشتركة بين الجميع » (مذكرة حول العلاقات الطبيعية بين الماكيس ، « المخزن الموسوعي » ، مجلد 7) .

هذا المفهوم في وحدة التركيب سوف يتواجد بعد ذلك في كل أعماله . والحقيقة تقال أن الفكرة لم تكن جديدة بإطلاق . . . فمنذ 1557 عرض بيار بيلون ، في كتابه « صور الطيور » ، « صورة لكتلة العظام البشرية ، بالمقارنة مع تشريح عظام الطيور ، بحيث أن أوصاف هذه تنطبق على أوصاف تلك ، مما يظهر مدى عظم التشابه بين النوعين » . وأعلن نيوتن في كتابه « البصريات » ، هو أيضاً فكرة وحدة التركيب . وكتب بوفون في مقالته « الحمار » وفي « خطاب عام حول القرود » ، « ان الكائن الأسمى لم يشأ استعمال غير فكرة واحدة ، ولكنه نوعها بذات الوقت لتشمل كل الكيفيات » . ولاحظ فيك دازير (خطاب أول حول التشريح) هذا المسار في الطبيعة ، التي تبدو « وكأنها تعمل دائماً وفقاً لنموذج أولي وعام ، فلا تبتعد عنه إلا مكرهة ، ونحن نجد أثر ذلك في كل مكان » . وهناك أسماء كثيرة أخرى يمكن أن تضاف الى هذا التعداد الموجز .

ولكن الفكرة ارتدت كامل قوتها في عمل جوفروا سانت هيلير فشكلت المبدأ الملهم للبحث . ومعتقده ، في شكله النهائي معروض في كتابه الكبير الذي صدر سنة 1818 بعنوان « فلسفة التشريح . في الأعضاء التنفسية بين علاقة التحديد والتشابه في أقسامها العظامية » ، وبشكل

خاص في الخطاب التمهيدي وفي المدخل . « هل يمكن رد الحيوانات الفقرية من حيث تنظيمها الى نمطٍ موحد ؟ » . تلك هي المسألة التي سوف يجيب عليها جوفروا . إن بحثه ، وإن ما قدمه العلم من عقلية جديدة ، قد تركز في هذه المشابهات . حتى الآن ، وبحسب رأي جوفروا دائماً ، لم يتم التركيز إلا على الفروقات ؛ وهو عمل سهل نسبياً ، يوافق المرحلة الأولى من علم التشريح . ولكن من أجل إنجاح المشروع ، ومن أجل تجاوز تأكيدات المؤلفين الذين أحسوا بالمبدأ دون أن يبينوه ، ودون أن يعطوه الاتساع اللائق به ، كان لا بد من ابتداع نهج جديد . وهكذا نشأت « نظرية المتشابهات » . على أية قواعد يتوجب الارتكاز من أجل العثور على المشابهات ؟ إن وحدة الوظيفة لا يمكن الأخذ بها ، لاننا نعلم أن نفس الأعضاء يمكن أن تقوم بوظائف متنوعة جداً ، كما أن أعضاء مختلفة تماماً تقوم بنفس الوظائف . كما أن الشكل والضخامة لا يمكنهما أيضاً تقديم الاشارات التي يمكن أن تتخذ معياراً للمشابهات . ولم يبق إلا الوضع النسبي ، وإلا ترابط الأعضاء فيما بينها وهنا نجد المعطى الثابت : ان العضو أقرب للإلغاء منه الى الانتقال ، «ومبدأ الترابط » سيكون بالنسبة الى جوفروا ، كما يقول هو بالذات ، بوصلته ، أو خيطه الهادي . وان نحن أهملنا هذا الرابط الفيزيائي الذي يجمع بين عضوٍ وعضو آخر ، فإن غرابة الظواهر الشكلية سوف تتحكم بنا ؛ إن المشابهات سوف تختفي في ظلّ الفروقات ، ووحدة الحيوان المجرد سوف تزول تحت قناع اختلاف الأشكال العضوية .

وهناك مثل ، بسيط جداً ذكره جوفروا ، يعطي فكرة واضحة عن طريقته : ننظر مثلاً إلى القسم الأخير من الطرف الأعلى . إنه يتضمن ثلاثة أقسام : الذراع ، الزند ، وقسم أخير من شأنه أن يأخذ أشكالاً متنوعة جداً (يد ، مخلب ، جناح) ولكنه ، تحت هذه التغييرات الثانوية ، له أساس مشترك : إنه الجزء الثالث في الطرف الأعلى . وهنا يوجد معطى ثابت يحدد العضو . إن الاستعمال لا يحدده إلا بشكل سطحي . وهل من شيء أكثر اختلافاً ، للعين غير الواعية ، من يد أو جناح ، أو زعنفة ؟ في نظر عالم التشريح انها جميعاً شيء واحد .

إن مبدأ الترابط يتيح من جديد إدخال الأعضاء البدائية ضمن نطاق العلم . في العلم التشريحي المقارن الذي يضع في المقام الأول الاعتبار الوظيفي ، لا يكون للأعضاء البدائية أية أهمية . فإذا انعدم وجود العضو الكامل ، فإننا نعثر على العناصر التي تدل على استمرارية المشابهة .

وأخيراً هناك مبدأ ثالث هو مبدأ « تأرجح الأعضاء » وينبثق عن مبدأ الترابط . إن الزيادة في نقطة ما تجر نقصاً في نقطة أخرى: يقول جوفروا : « إن العضو الطبيعي أو المريض لا يكتسب أبداً ازدهاراً خارقاً إلا إذا أصاب الوهن عضواً آخر في نظامه أو في علاقاته » ولهذا يقترن العضو البدائي ، بوجه عام ، بعضوٍ نامٍ جداً .

العلاقات المتبادلة والترابط ـ رأينا بتمعن بدايات التشريح المقارن في كتابين متعارضين : كتاب كوفيه ، المرتكز عى مبدأ الاتصال أو العلاقة ؛ وكتاب جوفروا الذي ينطلق من مبدأ الترابط الموثق . هل هناك حقاً تعارض بين وجهتي النظر هاتين ؟ وهل يمكن اعتبار العلاقات والترابط أمرين متنافرين أو متناقضين ؟

كان جوفروا سانت هيلير يرى في مبدأ العلاقات المتبادلة شكلاً مموهاً من الغائية وكان ينازع في

قيمتها ومداها . وطريقة كوفيه ، بحسب رأيه قليلة العقلانية وسطحية ، ولا تتيح الوصول إلا الى التقريبات وتبقى عاجزة عن إدراك المشابهات العميقة في الأعضاء ، والتي يطغى عليها تنوع الأشكال والبنيات. وحده النظر الى الارتباطات يكشف عن حقيقة فلسفة الحالة الحيوانية .

إن مبدأ التواصل أو العلاقة يمكن عالم الاحاثة ، الذي يملك قطعاً غير كاملة ، من إعادة تكوين الحيوان الذي تشكل هذه القطع بعض أجزائه ؛ انه مبدأ تركيبي بفضله يمكن أن نعثر على الكائن بأكمله انطلاقاً من عناصره .

وأمام كائن مختلف تماماً عن الكائنات التي تعيش حالياً ، يمكّن مبدأ الترابط من معرفة هوية أجزائه المكونة له . من ذلك أنه في عضو أمامي اصابه التغيير العميق ، مثل الريشة السابحة في سمكة الأكصور (Ichthyosaure) أو مثل الجناح في طير بتيرو داكتيل ، أو القائمة الامامية في الحصان ، يتيح مبدأ العلاقة التعرف ، سنداً لعلاقات الموقع ، على عظم الفخذ وعلى عظام الساعد ، وعلى عظام السنع (أو مشط اليد) الخ . إنه إذاً مبدأ تحليلي .

ويمكن أن نقول أيضاً أن مبدأ العلاقات المتبادلة يعطي الوحدة والانسجام للحيوان بالذات . أما مبدأ الترابط فيعطي الوحدة والانسجام في الفصيلة الحيوانية . وهذا المظهر الاستكمالي بين المبدأين، قد أدركه تماماً غوته الذي كتب يقول :

« إن علماء الطبيعة من أنصار كوفيه وجوفروا يبدون لي كجنود يحفرون مطات أو مطبات مضادة . بعضهم يبحث من الخارج إلى الداخل ، وبعضهم الآخر من الداخل الى الخارج . وإذا كانوا بارعين فإنهم يلتقون في الأعماق » .

المناظرة بين كوفيه وجوفروا سانت هيلير. ـ إن التعارض بين كوفيه وجوفروا ظهر الى العلن في المناظرة الشهيرة التي جرت بينهما وجهاً لوجه أمام أكاديمية العلوم سنة 1830 .

وقد كتب الكثير حول هذا الموضوع . ويرى أكثر المؤرخين الحديثين للعلوم ، أن المناظرة كانت نزاعاً بين الجمودية التي يمثلها كوفيه ، المسنود ، كما قيل غالباً من قبل السلطات الرسمية ، وبين التطورية الناشئة التي يمثلها جوفروا . وليس من الممكن تجاهل شهادة التاريخ أكثر من ذلك .

فلنحاول أن نرسم الظروف التي نشأ فيها الجدل : في سنة 1818 قصد جوفروا في كتابه المعنون « الفلسفة التشريحية » البحث ، كما سبق وقلنا ، عن جواب على السؤال التالي : « هل يمكن رد تكوين الفقريات الى نمط موحد ؟ » . وعثر بالفعل عند الجميع على نفس الوسائل العفوية . ولم تكن وجهة النظر هذه تختلف كثيراً عن نظرة كوفيه ، الذي كتب سنة 1812 يقول :

« استنتجت من كيفية تجمع المقترحات المتعلقة بكل عضو ، أنه يوجد ، بين الحيوانات أربعة أشكال رئيسية ، أولها الشكل المعروف من قبلنا تحت اسم حيوانات فقرية ، وإن الأشكال الثلاثة الأخرى تشبه تقريباً الشكل الأول بتشاكل تصاميمها المختلفة . واسميها : رخويات ، وحيوانات ذات مفاصل وحيوانات مشعة أو خطوطية . . . واستنتجت من هذا الترتيب سهولة كبرى في جعل تنوعات التنظيم محكومة بقواعد عامة » .

ولكن هذه المشابهات الخارجية ، التي قبل بها على درجات متفاوتة ، كل علماء الطبيعة هل تشمل كل الفروع الأخرى ؟ يؤكد ذلك جوفروا ولا يتردد في مشابهة حلقات الحشرات الحلقية بفقرات الحيوانات الفقرية ؛ولكن الحلقات تعيش داخل عامودها الفقري اما في الفقريات فتتواجد الحلقات خارجه . وكتب يقول : « إن الحيوانات التي يقال عنها ويعتقد حتى الآن أنها بدون فقرات، يجب أن تظهر بعد الآن في تصنيفاتنا المتعلقة بالعلوم الطبيعية ضمن الحيوانات الفقرية » . ومثل هذا الاستنتاج قد أثار الانتقادات الحادة من قبل ماجندي بصورة خاصة ، وعلى كلٍ التزم كوفيه الصمت رغم الحاح جوفروا : « هل يريد السيد كوفيه أن يشرح الأمر . . . اني أطلب منه ذلك متفضلاً » هكذا صرّح جوفروا . ونصل الى سنة 1830 ، فقدم ميرنكس ولورانست أمام أكاديمية العلوم مذكرة عنوانها : « بعض التأملات حول بنية الرخويات » . وكان الغرض من هذا العمل تبيين أن توجيه رخوية رأسية الأرجل ، بشكل ملائم ، يؤدي الى العثور على ترتيب للأعضاء شبيه بترتيب الفقريات . . . واعتمد جوفروا بشكل كامل آراء ميرنكس ولورانست بل تجاوزها فأعلن شمولية قانون وحدة التصميم ، وهاجم كوفيه مباشرةً لأنه كتب « إن رأسيات الأرجل لا تعتبر معبراً لأي شيء » ، وانها تعبر عن تصميم خاصٍ بها . ثم أعلن : « ان مثل هذا التأكيد ملغ ، وانه لا يدل إلا على مرحلة بالية من العلم ، مرحلة كان الهم فيها هو البحث عن الفروقات فقط » . وكان من الصعب على كوفيه الامتناع عن الجواب . ولكن نرى ، من خلال هذا العرض السريع ، فحوى النقاش : حول وحدة تصميم الفقريات والرخويات والمفصليات .

وفي تحليله لأعمال الأكاديمية ، خلال السنة 1830 ، صرح كوفيه بما يلي :

« إن المسألة التي عولجت بشكل خاص تدور حول معرفة ما إذا كان التشابه في التصميم ، الذي يقر الجميع بوجوده بين الحيوانات الفقرية ، يمتد ليشمل الفروع الأخرى ، ثم ، بالنسبة الى الفقريات بالذات ، هل ان هذا التشابه يذهب بعيداً بحيث يمكن تسميته تماثل في التركيب، أو ، كما قال السيّد جوفروا في أول الأمر ، وبكلمات مطلقة : هل تتكرر نفس الأجزاء بصورة لا متناهية ، في نفس الحيوانات » .

وهكذا ، كانت النقطة الرئيسية في نظر كوفيه تدور حول معرفة « هل ان هذا التشابه الذي يقر بوجوده الجميع ، بين الحيوانات الفقرية ، يمتد الى الفروع الأخرى » وبقول آخر هل يوجد أربعة تصاميم بنيوية أم لا يوجد الا تصميم واحد ؟

عندما زعم كوفيه أن هناك أربعة تصاميم ، لا يمكن الاستناد الى ذلك للقول انه اتخذ موقفاً جمودياً تثبيتياً ، بل انه يرفض ببساطة هذا التماثل الشامل الذي ليس له ، في ذهنه أي أساس واقعي . وعندما اعتقد جوفروا أن باستطاعته رد كل الكائنات الحية الى تصميم وحيد ، فهو كذلك لم يتخذ موقفاً تطورياً : انه يعود ببساطة الى فكرة سلم الكائنات التي ، بأشكالها المتنوعة ، قد ضللت علماء الطبيعة في القرن الثامن عشر .

III ـ تأثير فلسفة الطبيعة

بدايات التشريح المقارن في ألمانيا ـ إن حركة فلاسفة الطبيعة ، التي كان شيلنغ أحد باعثيها ، كان لها تأثير كبير في ألمانيا، في بداية القرن التاسع عشر ، على نمو الفكر البيولوجي . وكان غوته أول ممثل لهذه الحركة ، ولكن أوكن وكيلمير Kielmeyer هما اللذان أعطياها أعظم قوتها وبهائها .

وقد ذكرنا عدة مرات أنه يوجد تشابه بين فكر المشرحين الألمان ، وفكر اتيان جوفروا سانت هيلير. وعلى كل يبقى جوفروا على اتصال بالأحداث ، ولا يسعى إلى استنتاج مفهومه العام لتنظيم البنية الحيوانية ، من نمط مثالي مقرر ومقبول بصورة مسبقة .

ولا يتوجب الاعتقاد بأن علماء الطبيعة الألمان قد أهملوا أي اتصال بالرصد والمراقبة . ان غالبيتهم ، ان لم يكونوا جميعاً ، كانت من تلاميذ كوفيه ، أو على الأقل كانت مطبوعة ومتأثرة بأعماله

لا شك أن الفضل يعود الى كيلمير ، في الفكرة الأولى حول التناظر أو التوازي بين مراحل النمو الفردي، ومراحل سلم الكائنات الحية[1]. وقد صاغ هذه الفكرة بشكل فيزيولوجي أساساً ، فأعلن أن النطفة البشرية تعيش في بادىء الأمر حياة إنباتية خالصة ، ثم فيما بعد تعيش عيشة تشبه عيشة الفقريات الدنيا ، فهي تتحرك ولكنها محرومة من الاحساس ، ثم أخيراً تصل الى مستوى الفقريات العليا التي تتحرك وتحس .

وطور أوكن (1805 و1809) نفس الفكرة . أثناء تطور الحيوان ،فإنه يمر بكل مراحل المملكة الحيوانية ، بحيث أن الانسان يشمل مجمل هذه المملكة .

وعرض ج .ج. ميكل (1811) طويلاً البراهين على التناظر أو الموازاة بين المراحل النطفية ، في الحيوانات العليا ، والمراحل الدائمة في الحيوانات الدنيا . والوقائع التي ذكرها لا تشهد حتماً له بحس مورفولوجي (تشكلي) حاد . من ذلك مثلاً أنه لم يتورع عن تشبيه السُخد أو المشيمة بالغلاصم عند الأسماك والرخويات والديدان ، حتى انه شبه الفلقة بزوائد الغلاصم عند التيتيس أو عند الآرينيكول . وعلى كل حال ، وفي السنوات الأولى من القرن الماضي ، كان قانون التناظر مقبولاً في العلم التشريحي الألماني .

وننظر الآن الى الدرجة التي وصل اليها العلم الفرنسي حول هذه المسألة .

في حين أن كوفيه قد نهض بحدة ضد هذه المفاهيم كان اتيان جوفروا سانت هيلير قد تقبل تناظراً بين النمو النطفوي والنمو التاريخي للنوع .

---

(1) في الواقع يمكن رد مثل هذا التصور الى هارفي (De Motu Cordis, 1628) « كتب يقول: كل حيوان يمر دائماً بنفس المراتب ، ويتكون ، عند مروره ، كما يقال ، بمختلف بنيات السلم الحيواني ، فيكون ، بويضة ، فدودة ، فجنين ، وهو في كل من هذه المراحل يصل الى درجة الكمال » .

صرح جوفروا يقول أن البرمائي يكون في باديء الأمر سمكة بشكل شرغوف ، ثم زاحفاً بشكل ضفدع . ولا يمكن أن نؤكد على كل حال أنه اعتبر نمو الحيوان الضفدعي وكأنه اختصار واستجماع لتاريخه . وفي إحدى الحالات الخاصة بدا منسجماً مع نظرية التناظر عندما كتب يقول : « بعد أن تصورت أنه يوجد نفس المقدار من العظام (في جمجمة الانسان) بمقدار ما يوجد من مراكز عظامية مختلفة ، وبعد أن جربت باستمرار هذا النوع من العمل ، تمكنت من تقييم صحة هذه الفكرة : وهي أن الأسماك ، في بداية عمرها ، تكون في نفس الظروف المناسبة لنموها والتي يمر بها الجنين لدى الثدييات ، وتبين أن النظرية لا تحتوي على أي شيء مخالف لهذا الافتراض » .

ولكن كان من الواجب انتظار عمل أ . ر . آ . سر E.R.A. Serres حتى نرى نظرية التناظر تتخذ كل مسارها في فرنسا . ومنذ 1824 أعطاها سر Serres دوراً مهماً في كتابه «التشريح المقارن للدماغ» ثم عرضها بكل تفصيلاتها في كتابه « مختصر التشريح المتسامي المطبق على الفيزيولوجيا » (1842) . في هذا الكتاب وجدت العبارة الأخاذة التالية :

« إن العبقرية العضوية البشرية هي تشريح مقارن مرحلي ، كما أن التشريح المقارن بدوره هو الحالة الثابتة والدائمة للعبقرية العضوية عند الانسان » .

نظرية النموذج المثالي .ـ إن تيار « فلسفة الطبيعة » سوف يستمر بروزه في علوم البنية العضوية فيلهم الى نظرية جديدة حول البنية الفقرية ، هي نظرية « النموذج المثالي » . وقلما تسلط الانتباه من قبل علماء التشريح على مسألة مثل « نظرية النموذج المثالي » . ويعود الفضل الأول في الفكرة الى غوته . في سنة 1790 ، استقر غوته في البندقية ، وخلال نزهة قام بها في مقبرة اليهود ، في الليدو ، التقط خادمه جمجمة خروف وقدمها له ، ظاناً أنها جمجمة إنسان . وفجأة خطرت لغوتة فكرة أن الوجه يتألف من فقرات . وبطريقة فريدة نوعاً ما ، وفي ظروف مماثلة توصل أوكن ، مستوحياً الطروحات الموجهة الواردة في « فلسفة الطبيعة » الى نفس التصور .

كتب يقول : « في آب 1806 ، كنت في رحلة في الهارز ؛ وبينما كنت أسير في غابة ، شاهدت عند قدمي جمجمة ماعز بيَّضها الزمن . والتقطتها ، وقلبتها ، ونظرتها بلحظة . وصرخت إنها عمود فقري . ولمعت الفكرة كالبرق ، وبعد ذلك عرف الجميع أن الجمجمة هي عامود فقري » .

وهكذا بدا مجمل الهيكل العظمي عند الكائنات الأكثر علواً أنه ليس الا تكراراً للأقسام المماثلة ، بعد تغيرها بشكل أو بآخر . وأصبحت النظرية الفقرية حول الجمجمة شهيرة بسرعة . وتلقى علماء التشريح ذوو الميول الحلولية برضى عقيدة تكشف عن تماثل الأجزاء التي تبدو ذات مظاهر مختلفة ، أما العلماء الذين كانوا ميالين الى فكرة البساطة والوحدة فقد تقبلوها أيضاً بيسر وسهولة . وفي ألمانيا نشر سبيكس ، سنة 1815 تحت عنوان « سيفالوجنزيس » (Cephalogenesis) كتاباً مهماً حول الجمجمة ، ففككها فيه الى ثلاث فقرات . واعتقد بوجانوس (في كتابه التشريح الاختباري الأوروبي) « أن أناتوم تستودينيس أوروبا » (1819) ان بإمكانه إثبات وجود فقرة رابعة . وفي فرنسا ، اعتقد دوميريل في مذكرة قدمها الى أكاديمية العلوم (1808) ، ـ وهو يقارن بين نتوءات وانخفاضات المنطقة القذالية في السطح الخارجي للفقرات ـ، ان الجمجمة ليست إلا فقرة ضخمة . وتبنى بلانفيل ، واتيان

جوفروا سانت هيلير هما أيضاً النظرية الفقرية في الجمجمة . وقلما كان هناك صوت معارض غير صوت كوفيه . فقد قبل بوجود نوع من التشابه بين القسم من الرأس الموجود في طرف العامود الفقري ، وبين الفقرات ، لأن وظائفه شبيهة بوظائف الفقرات ، حيث يسمح بمرور الحبل النخاعي الكبير مثلها .

« ولكن كون الرأس يتحرك فوق العامود الفقري بواسطة قطع تشبه القطع التي تشكل العامود بالذات ، لا يعني وجود سبب للقول بأن الرأس بأكمله يمكن أن يعتبر كفقرة متطورة . ان أي قسم آخر من الرأس لا يمكن أن يتواجد كأثر أو كنواة في أية فقرة » (دروس في التشريح المقارن ، مجلد 2) .

ونجح ريشار أوين Owen (1771- 1858) في إعطاء النظرية الفقرية للجمجمة ، وإعطاء مفهوم النموذج المثالي شكلاً علمياً بحق ، إنما مطبوعاً بطابع فلسفة الطبيعة . إن آراءه النظرية ، قد عرضها بشكل رئيسي في كتابه المسمى : « في النموذج الأقدم وفي المماثلات بين الهياكل العظمية الفقارية » (لندن ،1848). كتب يقول انه يعارض تلاميذ ديموقريط وأبيقور الذين يفكرون على الشكل التالي :

« إذا كان العالم قد صنعه روح أو عقل سابق على الوجود ، أي إذا كان الصانع هو الله ، فإنه من الواجب أن يكون هناك فكرة أو نموذج للكون قبل أن يكون . . » . وإذ لم نكتشف أية إشارة تدل على وجود نموذج مثالي قديم ، للعالم في أي مكان منه ، فقد استنتجوا عدم وجود « أية معرفة أو أي عقل ، قبل بدء العالم ، كسبب له » .

وأعلن أوين رأيه ضد هذه المزاعم ، وقال بوجود هذا النموذج القديم . واعتقد أن جسم الفقريات مؤلف من أجزاء متشابهة ، أو فقرات . والرأس يتألف من أربع فقرات : فقرة الأنف ، فقرة الجبين ، فقرة العظام الجدارية ، والفقرة القذالية . وربط الفك الأعلى بفقرة الأنف . وربط الفك الأسفل بفقرة الجبين . وربط الحزام الصدري والأطراف العليا بالفقرة القذالية . وربط الحوض والأطراف السفلى بفقرات الجذع . وفي تنظيم بنية الفقرات ، انتظم كل شيء بالنسبة الى العامود الفقري : كتب أوين يقول : « إن فكرة النموذج القديم تبدو في الأجسام بأشكال متنوعة ، وعلى سطح كرتنا الأرضية ، وقبل وجود الأنواع الحيوانية التي نراها اليوم تمثل هذا النموذج متطوراً . . . . لقد تقدمت الطبيعة بخطوات بطيئة وجليلة ، يقودها نور النموذج المثالي وسط خرائب العوالم السابقة منذ الحقبة التي ظهرت فيها فكرة الفقرات تحت أنقاض السمكية القديمة ، حتى اللحظة التي بدت فيها هذه الفكرة بلباس الشكل البشري المجيد » .

نضيف انه إذا كانت الطبيعة تستطيع ، في بعض الحالات ، تقديم مظاهر تفسر كيف توصل بعض علماء الطبيعة الى تصور نظرية النموذج المثالي ، إلا أن الأمر ليس كذلك بالنسبة الى طبيعة الأزمنة الأولى .

فكرة التماثل .ـ انها لدهشة دائمة بالنسبة الى مؤرخ العلوم ، أن يلاحظ ضخامة وسرعة تطور علم التشريح المقارن في النصف الأول من القرن التاسع عشر . لقد شاهدنا ولادة المبادىء الكبرى بين التواصل والترابط بخلال القليل من السنوات . والمناقشات حول وحدة التصميم وحول النموذج المثالي

القديم مهما كانت خلاصته ، قد أغنت بشكل ضخم معارفنا حول تنظيم بنية الفقريات . وهناك مبدأ آخر يشكل أيضاً وفي الوقت الحاضر أحد الخيوط الموجهة للبحث ، سوف يتضح بذات الوقت الا وهو « فكرة التشابه أو التقارن » .

وهي فكرة محسوسة منذ زمنٍ بعيد . لقد عرف أرسطو وحدة التصميم داخل كل مجموع . واستنتج من ذلك أنه يتوجب وجود ما نسميه اليوم تماثل الأجزاء ، بين عناصر المجموعة . من ذلك أن أعضاء الحصان يمكن أن تقارن بأعضاء غيره من ذوات الأربع ، وعند كل حيوانات نفس الصنف ، إن الأعضاء لا تختلف فيما بينها إلا من حيث الزيادة أو النقص .

وفي القرن السادس عشر أحس بيلون أيضاً بفكرة التماثل ، عندما وضع جنباً الى جنب الهيكل العظمي لانسان ، وهيكل طائر ، وأعطى نفس الأسماء للعظام التي بدت له متطابقة . وعكف دوبنتون في أوصافه على إثبات وقائع مماثلة . ولكن جو فروا سانت هيلير هو الذي أحس بحق بالتماثل . ويمكن القول أن مثل هذا المفهوم قد شكل أحد الأجزاء الأساسية في فلسفته التشريحية : العضو ذو علاقة ثابتة دوماً من حيث موقعه بالنسبة الى عضو آخر معين ، وموقعه يتيح دائماً التعرف عليه ، بأي شكل بدا . ويجب أن نشير ان جوفروا يسمي « متشابهة » (وليس متماثلة) الأعضاء ذات الارتباطات الواحدة .

وإلى ريشار أوين يعود الفضل في التمييز بين الأعضاء المتشابهة والأعضاء المتماثلة ، حيث يعرفها بالشكل التالي : المتشابهة هي الأعضاء ذات الوظيفة الواحدة . أما المتماثلة فهي الأعضاء ذات الارتباطات الواحدة على أن تكون أحياناً ذات شكل مختلف وذات وظائف مختلفة .

ويميز أوين أيضاً بين التماثل الخاص والتماثل العام ، والتماثل السلسلي. فالتماثل الخاص يجمع بين عضوين لهما نفس الارتباطات في حيوانين مختلفين ، وهو يعبر عن وحدة التصميم . أما التماثل العام فيدل على تطابق بين عضوٍ وبين النمط الأصلي : مثاله القول بأن النتوء القاعدي في القذال البشري هو جسم الفقرة الأخيرة في الجمجمة ، يعني تقديم مماثلة عامة . وأخيراً هناك تماثل سلسلي بين العناصر التي تشكل سلسلتها الجسم الحيواني . وأخيراً إذا قبلنا بأفكار أوين حول النظرية الفقرية في الجمجمة ، فإننا نوافقه على القول بوجود تماثل سلسلي بين الأجسام الفقرية والقاعدة القذلية basioccipital والقاعدة الاسفينية ، الخ

IV ـ ما قدمه علم الأجنة

في عدة دفعات ، لاحظنا أن تطور المسائل المورفولوجية (المتعلقة بالشكل) قد تأثرت بما قدمته العلوم المجاورة : علم الأجنة في الثلث الثاني من القرن التاسع عشر ، وعلم الاحاثة في أيامنا . ويمكن الظن بأن كارل فون باير Karl Von Baer قد أسس حقاً علم الأجنة في كتابه الكبير : « Ueber Entwickelungsgeschichte der Thiere . Beobachtung Und Reflexion » (مجلد 1 ، 1828، مجلد 2 ، 1837) .

إننا نترك جانباً آراءه حول التطور وحول التخلق المتعاقب (épigenèse) وحول كيفية خلق

الحيوانات ، حتى لا ننظر إلا إلى موقعه تجاه نظرية التوازي . من دراسة طويلة استنتج « ان النمو الفردي في الحيوانات العليا لا يمر بالأشكال الدائمة للحيوانات الدنيا ، وقد وسع فكرته في الأحكام الأربعة التالية والتي نذكرها سنداً الى ل. فياليتون L. Vialleton :

1 ـ ان الشيء المشترك بين عدد كبير جداً من الحيوانات ينمو بصورة أكبر في الجنين وبشكل سابق على ما هو خاص ذاتي .

2 ـ يتفرع عن المواقع أو الكيفيات الأكثر عمومية شيء ما أقل عمومية ، وهكذا دواليك الى أن ينشأ الشيء الأكثر خصوصية .

3 ـ كل جنين في حيوانٍ معين ، بدلاً من أن يمر بالأشكال الأخرى المحددة ، يتميز عن هذه الأشكال .

4 ـ في الأساس لا يشبه الجنين في شكل عالٍ حيواناً آخر ، بل يشبه فقط جنين هذا الأخير .

ويعتبر راتكي (1793 -1860) وجهاً آخر بارزاً في المراحل الأولى من علم الأجنة ، المطبق في مجال علم التشريح المقارن لدى الفقريات . وفي مؤلف نشر سنة 1832 بعنوان « اناتوميش ـ فيلوزفيش انتر سوشنجن أوبر دن كيمن ـ ايارات اند دار زنجنباين »استعمل سمات التطور لكي يقرر تماثل الأقواس الغلصومية (نسبة الى الغلاصم أو الخياشيم) في سلسلة الفقريات . ودرس فيها ، فيما بعد ، التحولات لدى الفقريات العليا . فقرر وجود تماثل بين الفك الأسفل ، وبين الأقواس الغلصومية ؛ وكان على الدوام متأثراً بآراء فلاسفة الطبيعة ، فاستمر يقول بوجود نوع من التماثل بين الأقواس الغلصومية والأضلاع ، الا أنه لم يتقبل إلا بتحفظ ، النظرية الفقرية حول الجمجمة ، والتي دافع عنها ، بذات البرهة ، جوهانس مولر .

وربما يعود الفضل الى ريشرت Reichert ، في إبراز تطبيقٍ جريء لعلم الأجنة في مجال التشريح المقارن . وفي سنة 1837 اكتشف التماثل الحقيقي بين عظيمات الاذن الوسطى عند الثدييات ، وبين المطرقة المقابلة لمفصل الفك الأسفل عند الزواحف ؛ وتماثل السندان مع العظم المربع ؛ وتماثل الركابة (عظمة في الأذن) مع قسم من القوس الثاني الحشوي . وقد أثبت التطور الحديث في علم الإحاثة وجهات نظر ريشرت .ونحن نمتلك اليوم مستندات ايجابية تتيح تاريخاً تتبع التحولات التي تنبأ بها هذا العالم الجنيني الكبير . وظهرت له بحوث حول تطور الفقريات ، تؤكد النظرية الفقرية حول الجمجمة .

انتقاد النظرية الفقرية حول الجمجمة . ـ سبق وأشرنا إلى مدى معارضة كوفيه للنظرية الفقرية حول الجمجمة . وبعد ظهور هذه النظرية بمظهر المنتصر ، بعد الأعمال الجنينية التي قام بها راتكي وريشرت ، وبعد التطور الذي أدخله عليها أوين ، ظلت مجموعة من المعارضين مستمرة في معارضتها ، مع فوغ ومع آغاسيز ، وريماك ، ولكن ت. هوكسلي ضرب الضربة القاضية لهذا التصور ، في مذكرة شهيرة عنوانها : « حول نظرية الجمجمة الفقرية » (1858) .

وبعد أن وضع التصميم الأساسي المشترك بين الجمجمة في كل طبقات الفقريات ، وبآن واحد بخلال النمو الجنيني، وفي بنية الراشد ، بين أن الجمجمة تبدو ، في المقام الأول ، في حالة

« غشائية » ، ثم في حالة غضروفية ، وان العناصر العظمية التي تتكون فيما بعد في الأنماط الأكثر رقياً ، تعرض علاقات أقل قرباً (أسلوب في التقطيع شبيه بأسلوب تقطيع العامود الفقري) من المراحل الغضروفية السابقة . الواقع أن الجمجمة تتكون قبل ظهور الفقرة بزمن بعيد ، وإذاً فهي ليست فرعاً منها . هذه المرة أصبح الانتقاد للنظرية الفقرية حاسماً . وبصورة تدريجية ، وخاصة على أثر أعمال علماء التشريح الألمان ومنهم جيجنبور ، وفروريب وفوربرنجر الخ ، استبدلت بالنظرية التقطيعية .

ونشرت مذكرة هوكسلي قبل سنة كاملة من ظهور مؤلف داروين حول « أصل الأنواع » . أن العقلية الجديدة التي دخلت في دراسة الكائنات الحية لم تكن إلا لتؤثر في بحوث التشريح المقارن .

V ـ التشريح المقارن ووجهة نظر التطور

إنه لحدث ملحوظ ومذكور في أغلب الأحيان ، ألا وهو الدور الضعيف الذي يحتله التشريح المقارن في صياغة نظرية التطور . ومع ذلك من غير المشكوك فيه أن معتقد وحدة التصميم والتركيب مثلاً ، كان يمكن أن يكون نقطة انطلاق ـ لا لنظرية تحول الأنواع بالتأكيد ـ بل لتحولات انماط التنظيم أو البنية .

ان كتاب داروين ، والعودة الى الأفكار اللاماركية لم يشكلا تقديماً مباشراً الى علم التشريح المقارن . ولكنهما أوجدا حالة فكرية جديدة ، وإذا كانت المفاهيم التي وضعها علماء الطبيعة من النصف الأول للقرن قد بقيت صالحة ، إلا أنها قد رُئيت من منظور مختلف .

رغم ان الاعتبارات التشكيلية لا تحتل فيها إلا مكاناً ضيقاً فإننا نجد في « أصل الأنواع » اعلاناً عن هذا التغير . إن تأثير جو فروا سانت هيلير واوين ظاهر فيه ، وفي العديد من المقاطع ، يعود داروين الى تفحص مسائل التشريح المقارن ضمن نفس الخط الذي سلكه جوفروا : كتب يقول : « أليس من الملحوظ جداً أن يد الانسان المصنوعة لتمسك وتلمس ، ومخلب الخلد المعد لسحب التراب ، وكذلك قائمة الحصان وزعنفة النخس أو خنزير البحر ، وجناح الوطواط ، ان تكون كلها مصممة بنفس التصميم وتحتوي على عظام متشابهة موضوعة في نفس الوضع النسبي ؟ وقد ركز جوفروا سانت هيلير بقوة على الأهمية الكبرى لعلاقات الترابط بين الأعضاء المتماثلة . ان عناصرها التشريحية يمكن أن تختلف الى ما لا حد له تقريباً من حيث النسبة ومن حيث الشكل . إلا أنها تبقى مع ذلك ضمن نفس الترتيب الثابت » .

وتابع دارون يقول : « ليس من الممكن تفسير هذه الوحدة في التصميم الواضحة ، لدى كل أعضاء الطبقة الواحدة ، بأسباب نفعية أو بواسطة نظرية الأسباب الغائية . وقد اعترف أوين نفسه باستحالة ذلك في كتابه حول « طبيعة الأعضاء » . ولا يمكن التركيز أكثر من ذلك على خلق خاص ذاتي لكل نوع . إن وحدة التصميم هذه لا يمكن أن تفهم حقاً إلا إذا افترضنا ان الحيوانات تتحدر بعضها من بعض ، واحتفظت طيلة أجيال عديدة ، بالسمات الأساسية في بنية أجدادها . وتفسير ذلك بسيط سنداً لنظرية انتقاء التعديلات البسيطة والمتتابعة ، باعتبار أن كل تغيير جديد مفيد بشكل من

الأشكال ، للشكل المعدل ، إلا أنه يتناول في أغلب الأحيان أقساماً أخرى من البنية بواسطة التغيرات المناسبة . وفي تغيرات من هذا النوع ، لا يمكن أن يكون فيها ميل قوي لتغيير التصميم الأصيل ، ولا أي ميل الى تغيير الأجزاء . . . إذا فرضنا أن أصل كل الثدييات ، وهو ما يمكن أن يسمى « النموذج القديم » ، كانت أطرافه مصنوعة سنداً للتصميم العام القائم حالياً ، مهما كان الاستعمال القديم لهذه الأطراف ، فبإمكاننا أن نتصور ، لأول وهلة المعنى الطبيعي جداً للبنية المماثلة التي كانت عليها الأعضاء أو الأطراف في كل نماذج الطبقة » .

وهكذا طابق داروين ، وهو يعود بنوع من الأنواع الى وجهات نظر أوين ، بين النمط النموذجي القديم وبين المولد المشترك ، وقد افترض أن كل تغير تكيفي يؤدي بالضرورة الى تغييرات مناسبة وضرورية ، في كل الأعضاء الأخرى .

إن المفاهيم التشكلية عند دارون لا تحسب حساباً على الاطلاق ، لحالة العلم في زمنه . وقد بدا أنه قد جهل الأعمال العظيمة التي قامت بها المدرسة الجنينية الألمانية (راتكي ، ريشرت) . وإذا كان قد عرف مؤلف ت . هوكسلي ، إلا أنه قد استلهم بشكل خاص أوين ، ولم يخجل من التأكيد أن كلمة التحول أو التناسخ ، عند فلاسفة الطبيعة ، يمكن أن تستعمل بمعناها الحرفي .

أترك جانباً الانتقادات التي أثارتها نظريته حول التطور ، وأشير هنا الى جوهر الاعتراضات التي وجهت اليه من قبل علماء التشريح ، فيما يتعلق بتصوره لتنظيم البنية الحيوانية . ليس من المشكوك فيه اطلاقاً أن داروين قد كوَّن فكرة ناقصة عن مبدأ الترابط ، وانه فهم نقيض مبدأ ظروف الوجود الذي قال به كوفيه . وقد عرض أ . س . روسل حول هذه المواضيع ملاحظات عميقة . إن صعوبة فهم هذا الترابط في الفرضية الداروينية هي التي حملت فون باير ، ثم كوليكر Kolliker ، على رفض وجهات نظر العالم الطبيعي الانكليزي . وهو يتقبله لامكان التطور ، بدا لهما ضرورياً ، وخاصة للأول منهما ، انه لا بد من وجود مبدأ منظم للتحولات .

التشريح المقارن والتطور .ـ نصل الآن الى مفاهيم المشرحين الكبار الذين لم يوافقوا على مفاهيم داروين ، وان وافقوا أقلّه على النظرية العامة للتطور ، والذين ، نقلوا الى حقول دراساتهم ، وجهة النظر الجديدة . هناك اسم يسيطر على هذه المرحلة من التشريح المقارن ، هو اسم جيجنبور (1826 -1903) .

يعرض في كتابه الكبير « غرندزوغ در فرغليشندن أناتومي » الذي نشرت طبعته الثانية سنة 1870 ، مسائل التشريح المقارن في المنظور التطوري . لا شك أنه قد قام في ألمانيا بشكل خاص ، وفي نفس الحقبة تقريباً علماء طبيعيون ، ومنهم هايكل بشكل خاص ، يطورون وجهة نظر مشابهة . إلا أن جيجنبور وحده كان يمتلك معرفة كاملة بهذا العلم ، وضعته في مصاف كوفيه بصورة مباشرة .

وعلى كل ، إن الأفضلية التي منحها هذا العالم لمعطيات موقع الأعضاء بالنسبة الى دورها الفيزيولوجي ، تقربه من جوفروا سانت هيلير :

« إن التشريح المقارن يمكننا من ترتيب الأعضاء ترتيباً تسلسلياً . وداخل هذه السلاسل نجد

تنوعاً طفيفاً في بعض الأحيان ومهماً في البعض الآخر . هذا التنوع يصيب اتساع وعدد ، وشكل ، ونسيج أقسام العضو ، وقد يؤدي بالتالي ، انما بدرجة خفيفة جداً الى تغييرات في الموقع أو المكان » .

لقد أول جيجنبور التماثل وكأنه نتيجة الوراثة . والفروقات الملحوظة بين الأعضاء المتماثلة تعزى الى التكيّف .

كتب يقول : « إن نظرية التطور تدل على أن ما كان يسمى في السابق بالتصميم البنيوي أو بالنموذج ، هو مجمل ترتيبات التنظيم الحيواني المنقولة بفعل الوراثة . في حين أن هذه النظرية تفسر التغييرات الطارئة على هذه الترتيبات باعتبارها حالات تكيفية . إن الوراثة والتكيف هما بالتالي العاملان المهمان اللذان بهما تتفسر الوحدة والتنوع في تنظيم البنية » (غرندزوج در فرغليشندن أناتومي ص 71) . من أجل فهم الترابطات ، لا بد من تأمل الوظائف ، وكذلك أيضاً العلاقات الوظيفية الموجودة بين الجسم الحي والوسط أو البيئة . ونحن هنا أمام أفكار كوفيه ، حرفياً تقريباً ولكن « الغاية الأساسية من التشريح المقارن هي العثور على مؤشرات الترابط الخلقي الفطري في التنظيم الحيواني » ، وفكرة التماثل هي الخيط الموصل في مثل هذا البحث . وهذه الفكرة هي التي تشكل المبدأ الأساسي في التشريح المقارن التطوري :

« في التماثل ، الدقيق نوعاً ما ، لدينا التعبير عن درجة ، حميمية نوعاً ما في القربى . هذه القربى تصبح مشكوكاً بها تماماً بنسبة ما تنعدم البراهين على التماثل » .

ولا يمكن المبالغة في الاشارة الى أهمية عمل جيجنبور . إن هذا العمل يدخل تماماً ضمن التيار الكبير الذي نشأ بفضل كوفيه وجوفروا . إن هذا العمل يطيل ، في مجال مختلف ، عمل المدرسة الجنينية الألمانية ؛ وهو يفتح الطريق أمام سلسلة من الأعمال القت الضوء البراق على علم التنظيم ، وأهم هذه الأعمال قام بها فوربرنجر وغوب Gaupp الخ .

التشريع المقارن والنسالة أو علم تكون الانسال وتطورها . ـ نحاول الآن توضيح أفكار المشرحين في القرن الماضي ، فيما يتعلق بمسألة علم الأنسال الذي عالجه ببراعة جيجنبور .

نشير في بادىء الأمر ، مع أ. س. رومل ، الى القربى الوثيقة الفكرية بين المشرحين التطوريين وبين مدرسة جوفروا والتجاوزيين الألمان Transcendantalistes .

إن مبدأ الترابطات يبقى الخيط الموصل في العمل التشكلي ، لقد استمر تخيل النماذج المثالية الأصيلة ، وان بشكل مختلف قليلاً . وأصبح قانون التوازي أو التناظر ، قانون الاستجماع في علم النسالة بواسطة علم تطور الكائن (أونتوجيني ontogénie) ، ورسم نظام التصنيف الطبيعي ، الشجرة الوراثية العائلية للعالم الحي . وساد نفس الميل عند هؤلاء وأولئك ، من أجل تقبل الحلول البسيطة ؛ أما مسار الفكر فلم يختلف كثيراً ، هذا المسار الذي حمل جوفروا على اعتبار رأسيات الأرجل وكأنها بُنيت بنفس التصميم الذي بنيت عليه الفقريات ، وهو الذي حمل سمبر ودوهرن، Donrn على اشتقاق الأخيرة من الأولى .

وبين وجهة النظر الوظيفية التي قال بها كوفيه ووجهة النظر الشكلية التي قال بها جوفروا سانت

هيلير، اختار المشرحون في أواخر القرن التاسع عشر وجهة نظر الثاني ، مما أدى الى مقتضيات تطورية فريدة وغريبة . ولأننا نجد في كل مكان نفس العناصر ، بنفس العدد ، وبنفس الارتباطات ، لم تخلق الطبيعة شيئاً . ولا أي سمة أصلية حقاً لم تظهر بخلال تحول الكائنات . إن مبدأ التماثل هو في الأساس مبدأ تمام انه يفسر عضواً ما بمماهاته بعضوٍ آخر . وهذه هي الفكرة التي صاغها هوبرشت Hubrecht ، سنة 1887 في دراسة رمى من ورائها الى إقامة رابط خلقي نشأوي بين الفقريات والنمرتيات (Némertes) : « في نقطة انطلاق التأملات الموجودة في هذا الفصل ترتكز القناعة التي ألح عليها داروين بشدة ، من أن الأعضاء الجديدة لا يمكن أن تظهر بفعل الانتقاء الطبيعي ، مالم تكن هذه الأعضاء قد سبقت بأعضاء أخرى ، تفرعت منها بصورة تدريجية ، بعمل تغييري بطيء » .

وأكد دوهرن Dohrn أيضاً أن الطبيعة تستخدم أعضاء قديمة بدلاً من أن تخلق أعضاء جديدة . مثلاً قال باشتقاق الشقوق الغلصومية من الأعضاء المتقطعة ، وباشتقاق الزعانف من الغلاصم ، الخ . بدلاً من أن يفترض أن هذه الأعضاء قد أمكن تكونها بشكل مستقل . وشبه فكرة « التشكل الجديد » بالخلق الملتبس (generatio equivoca) . وقد رفضت بمجملها امكانية الخلق الحياتية . ومن المدهش يومئذٍ أن نلاحظ أن إدخال فكرة المدة في التطور قد أشار الى الصفة الابداعية وقرب هذا التيار الجديد من فكر كوفيه ، الذي يرى أن الطبيعة قادرة على الخلق ، في حالات الاحتياج الجديدة ، أي على خلق أعضاء جديدة .

* * *

هذه النظرة السريعة الى تاريخ علم التشريح المقارن في مجال الفقريات ، في القرن التاسع عشر ، يدل على أن غالبية الأفكار الأساسية قد وضعت في النصف الأول من القرن . وأعطى كوفيه الأهمية الأولية للوظيفة ، في حين أن جو فروا والتجاوزيين الألمان انشأوا علماً تشكيلياً خالصاً . وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، احتفظ التشريحيون من أنصار نظرية التطور ، بنفس المفاهيم ، بعد نقلها : من نطاق منطقي انتقلوا الى مرتبة التخليق (genèse) أي التوليد . والحقبة الحالية التي ندرسها في المجلّد اللاحق تتميز بصورة رئيسية بتشارك وثيق بين علم الاحاثة وعلم التشريح ، مما يتيح اقامة علم جديد حقيقي يبحث في التنظيم أو البنية .

الفصل الثاني

الاحاثة والفقريات

I ـ كوفيه وولادة علم الإحاثة في الفقريات

« حاولت في هذا الكتاب أن أجتاز طريقاً لم تكن قد قطعت منه حتى الآن إلا بضع خطوات ، ثم اني حاولت أن أعرف بنوع من الآثار بقيت دائماً مهملة . وبحكم اني بائع أنتيكـه من نوع جديد ، توجب علي أن أتعلم تفحص وإحياء هذه الآثار والمتبقيات ؛ كما توجب علي أن أتعرف وان أقرب ، وفقاً للترتيب الأولي ، بين الأجزاء المبعثرة التي تتألف منها هذه الآثار ؛ ثم اعادة بناء الكائنات القديمة التي منها هذه الأجزاء ؛ ثم استحداثها من جديد بأبعادها وسماتها ؛ ثم مقارنتها أخيراً بأولئك الذين يعيشون اليوم على سطح الكرة الأرضية : انه فن شبه مجهول تقريباً . . » .

بهذه الجملة افتتح جورج كوفيه « الخطاب التمهيدي حول البحوث المتعلقة بالعظام المحجرة » حيث أرسى المؤلف أسس علم الإحاثة عند الفقريات .

ولكن أي عمل مهما كانت أصالته يرتبط دائماً بقنوات مباشرة الى حد ما بالأعمال التي سبقته ، ومن أجل إدراك المجلوب الجديد ، من اللازم وضع هذا العمل ضمن التسلسل التاريخي الذي يشكل العمل إحدى حلقاته .

علم الفقريات المتحجرة قبل كوفيه . ـ إذ كان الناس ، منذ العصور القديمة قد لاحظوا وجود مجموعات من الأصداف محفوظة عند مسافات بعيدة ، وإذا كان برنار باليسي Palissy ، وليونار دا فنشي قد صرحا بأن هذه الأصداف قد وضعها في الماضي ، البحر في الأماكن التي وجدت فيها يومئذٍ ، فإن بقايا الفقريات قد اجتذبت الانتباه بصورة أقل . وعلى كل ، إن عظام الخرطوميات المتحجرة التي جعلتها جثتها منظورة بسهولة ، ولّدت ، حتى بخلال القرن السابع عشر وبداية القرن الثامن عشر ، جملة من الأساطير ومن المعتقدات الموروثة حول عرق مزعوم من العمالقة كانت ، في الأزمنة الأولى ، قد أهَلَتِ الأرض .

وكان بوفون أحد الأوائل الذين ألهموا بأن هذه المتحجرات كانت أجسام كائنات زالت ، دون أن يكون لها مثيل دقيق في العالم الحالي .

« إن العظام المتحجرة العجيبة التي عثر عليها في سيبيريا وكندا وايرلندا وفي العديد من الأماكن الأخرى ، تبدو وكأنها تثبت هذا الافتراض ، إذ حتى الآن لم يعرف حيوان يمكن أن تنسب اليه هذه العظام التي ، في معظمها ، هي ذات ضخامة وذات كبر تفوق المقاييس » .

ولكن بوفون اكتفى بهذه التأملات العامة حول الكائنات الزائلة . جاء بوفون باكراً وكان ينقصه نجدة علم التشريح المقارن الذي لم يكن قد وجد بعد.

ومع ذلك فقد استشعر ، بفضل نور عبقريته فقط ـ بحسب تعبير فلورانس ـ المصائر العظيمة التي تنتظر علم الإحاثة ، في المجلد الرابع من كتابه « التاريخ الطبيعي للمعادن » الذي صدر قبل سنة من موته كتب يقول :

« إن هذا العمل حول الطبيعة القديمة يتطلب وحده من الوقت أكثر مما بقي لي من الحياة ، ولا أستطيع إلا أن أوصي به الأجيال الآتية . . . وإني بأسف أترك هذه الأشياء المهمة ، هذه الآثار الثمينة عن الطبيعة القديمة التي تمنعني شيخوختي من تفحصها بما يكفي من أجل استخلاص النتائج التي أترقب . وسوف يأتي آخرون بعدي يستطيعون التوقع . . . » .

إن تاريخاً ، حول بدايات علم الإحاثة المتعلق بالفقريات ، قد سكت عن اسم كاميز وبالاس ، يكون تاريخاً غير كامل . لقد نبه بالاس العلماء الى الفيلة والى « وحيدات القرن » المغطاة بالصوف والمحجوزة في جبال الجليد في سيبيريا ؛ وفي سنة 1787 أصدر كامبر رأياً مفاده أن بعض الأنواع قد دمرتها الثورات في الكرة الأرضية . وقد أسند هذا الرأي الى وقائع إيجابية . ولكن كوفيه هو الذي ثبت علم المتحجرات بحق من حيث منهجه ، وهو الذي أوضحه من حيث غاياته .

الإنجاز الاحاثي الذي حققه جورج كوفيه .ـ إن قسماً كبيراً من نشاط كوفيه العلمي قد كرس لعلم الاحاثة . وفي أول « بلوفيوز Pluviôse من السنة الرابعة من الثورة الفرنسية » قرأ كوفيه أمام « المعهد الوطني » أول مذكرة حول أنواع الفيلة المتحجرة ، المقارنة بالأنواع الحية ؛ ثم سرعان ما اتبع هذه المذكرة بسلسلة من الدراسات نشرت في « نشرة الجمعية الفيلوماتيكية » ، « والمخزن الموسوعي » و« حوليات المتحف » . وفي سنة 1812 ظهرت الطبعة الأولى من « بحوث حول العظام المتحجرة حيث تم إثبات سمات العديد من الحيوانات التي دمرت أنواعها الثورات الأرضية » ، وهو كتاب لم يكن الا جمعاً للأعمال السابقة التي وضعها المؤلف . ونشرت بين 1821 و1824 طبعة ثانية مزيدة بوقائع جديدة ومعدلة من حيث تصميمها . وهناك طبعة ثالثة تعود الى سنة 1825 ، لا تختلف عن السابقة إلا ببعض تعديلات أضيفت الى « الخطاب التمهيدي » الشهير ، والذي طبع كثيراً ، وعلى حدة تحت عنوان « خطاب حول ثورات سطح الكرة الأرضية وحول التغييرات التي أحدثتها هذه الثورات في المملكة الحيوانية » .

« كتب يقول: إذا نحن بذلنا الهمة في تتبع طفولة نوعنا ، وما فيها من آثار شبه زائلة ، لدى

الكثير من الأمم البائدة ، كيف لا نبذل الهمة أيضاً في البحث في ظلمات طفولة الأرض ، عن آثار الثورات السابقة لوجود كل الأمم ؟ إننا نعجب بالقوة التي استطاع الفكر البشري من خلالها أن يقيس حركات العوالم التي قد سحبتها الطبيعة والى الأبد من تحت أنظارنا . . . ألا يوجد أيضاً بعض المجد للانسان في معرفة تخطي حدود الزمن ، ثم استعادة تاريخ هذا العالم ، بواسطة المراقبة والرصد ، ثم تتبع تسلسل الأحداث التي سبقت ولادة النوع البشري ؟ » .

وهكذا توضحت الغاية المبتغاة ، في الوقت الذي تحدد فيه علم الكائنات الزائلة ، بكل أبعاده .

أهمية الثدييات . ـ لم يكن كوفيه يحلم بالقيام بدراسة كل المتحجرات . فأمام ضخامة تنوع انتاج الطبيعة كان لا بد له من القيام بالاختيار . وتوقف على دراسة عظام ذوات الأربع (ونسميها اليوم بالثدييات) باعتبارها مؤهلة أكثر من غيرها للوصول الى نتائج دقيقة من أجل وضع نظرية حول الأرض .

إن ظهور الأربعيات كحيوانات ترابية ، في طبقة ما ، يدل على أن هذه الطبقة كانت في الماضي قد خرجت من تحت المياه ؛ وبواسطة هذه الأربعيات يمكننا أن نعرف وان نعيد تكوين تنقلات البحار . فضلاً عن ذلك ، ان الأربعيات الأرضية كانت الموضع الذي أصابته ثورات الكرة الأرضية بصورة مباشرةٍ وحالّةٍ . ومن خلالها أخيراً يمكن تتبع هذا الأثر بوضوح وبما أن عددها محدود ، وغالبية أنواعها معروفة تماماً ، فإن من السهل نسبياً التأكد من نسبة العظام المتحجرة الى أي نوع منها ، انها تأتي من نوع مفقود . « لأن أكبر عقبة يمكن تخطيها نحو استكمال نظرية الأرض تكمن في إثبات أن هذه الحيوانات التي عثرنا على بقاياها المنتشرة في كل بقاع العالم ، لم تعد موجودة اليوم » .

وكان لا بد من أن نكون مؤهلين لمعرفة ، وبدقة ، الحيوان من خلال قسم من عظم يعود اليه ، وهذا فن كان لا بد من خلقه يوم بدأ كوفيه بحوثه .

إن التشريح المقارن الذي قام كوفيه باستكماله ، قدم له المبدأ الضروري لهذا التحديد أو الاستكمال : إنه مبدأ العلاقة المتبادلة بين الأشكال .

مبدأ التعالق . ـ نحن لا نتناول هنا الا الخلاصات . من شكل الاسنان مثلاً يمكن استخلاص شكل اللقمة (أي النتوء المفصلي في طرف العظم) ، وشكل الأطراف وشكل الجهاز الهضمي .

وهذا الاستنتاج الدقيق ، إن لم يكن صائباً دائماً ، فهو قد أتاح لكوفيه التعرف ، في أغلب الأحيان ، على حيوان ما بواسطة جزء من عظمه . إننا نعرف القصة التي ذكرها بنفسه حول اكتشاف «ثنائي رحم Didelphe» في الجبس في منطقة مونتمارتر: ودراسة الأسنان بينت له تشابه هذا المتحجر مع « الساريغات » ومع « الداسيرات Dasyures » ، فلم يعد يشك ، قبل أن يرى الحوض ، أنه يحمل عظام جرابيات (رتبة في الحيوانات الثديية). وبحضور بعض الأصدقاء أمر بحفر الحجر لكي يبرز الحوض ؛ والعظام الجرابية ، المتوقعة بموجب النظرية ، قد اكتشفت فعلاً . (بحوث حول العظام المتحجرة . . . مجلد 3 ص 292) .

مثل هذه التطبيقات لمبدأ التعالق ، وهذه الاعادة لتكوين حيوان بأكمله من خلال بعض

أقسامه ، كان من شأنها إثارة الدهشة والعجب ، وقد عبر بلزاك في صفحة بليغة عن هذا الاعجاب فقال :

« . . . إن عالمَنا الخالدَ قد أعاد بناء الأكوان بواسطة عظام مكلسة ، وكما فعل قدموس ، لقد أعاد تعمير المدن من خلال الاسنان ، وأعاد تأهيل آلاف الغابات بكل عجائب المملكة الحيوانية ، بواسطة بعض بقايا الفحم الحجري ، وعثر من جديد على شعوب من العمالقة من خلال رِجْل ماموث . . . لقد أحيا العدم . . . ونقب في قسيمة من الجبس ، فوجد فيها بصمة فصرخ انظروا ! وفجأة تحوّن الرخام وبعثت الحياة في الموت ، وكر الكون ! » (بلزاك ، جلد الحزن) .

جدول بالنتائج العامة للبحوث حول العظام المتحجرة .ـ

أ) **أنواع المتحجرات المقارنة بالأنواع الحية** .ـ إن أول غاية من بحوث كوفيه كانت مقارنة الأنواع المتحجرة بالأنواع الموجودة حالياً . ولم يقتصر المؤلف على تتبع الترتيب الحيواني أو الجيولوجي : إنه يعرض اكتشافاته ضمن الترتيب الذي حدثت فيه . درس في بادىء الأمر ما سماه « سميكات الجلود» وهي مجموعة جزئت اليوم الى : خرطوميات والى مفردات الأصابع والى مزدوجات الأصابع ؛ ثم الى المجترات والى المفترسة والى القاضمة والى عديمات الأسنان (أثرميات) . واما المجلد الأخير من المؤلف فمخصص للزحافات .

إني أدون بعض التفصيلات فقط البحوث حول ثدييات الجبس في مونتمارتر . إن عظامها المتحجرة تبدو مختلطة وملتبسة . وعلى مثل هذا النموذج يمكننا أن ندرك بصورة أفضل قوة ومنطق الأسلوب أو الطريقة (بحوث حول العظام المتحجرة . . . مجلد 3 ، ص 1-151) .

إن أول شيء يجب القيام به في دراسة حيوان متحجر ـ يقول كوفيه ـ هو التعرف على شكل أسنانه الطاحنة (الأضراس) ؛ ونحدد ، من خلال هذا ، هل هو عشبي أم مفترس ، ويمكن أحياناً ، التأكد من نوعية فصيلته . في محافر الجبس في مونتمارتر ، كانت الأسنان الأكثر عدداً هي أسنان آكلات العشب ؛ وبعد أن رتب كوفيه « وجبات » الأسنان كاملة ، لاحظ أنها تنقسم الى نوعين مختلفين ـ أحدها مزود بأنياب بارزة ، والآخر مزود بأنياب لا تتجاوز مستوى الأسنان الأخرى . فسمى الصنف الأول باسم « بالاتيريوم » (Palaeotheruim) وأطلق على الثاني اسم « آنوبلوثيريوم » (Anoplotherium) .

وشرع كوفيه بعد ذلك في تصور شكل الرؤوس . وسرعان ما تبين أن هناك نوعين . وكانت هناك أجزاء من جماجم ما تزال تحتفظ ببعض الأسنان ، مما أتاح المطابقة بين نمطين من الرؤوس وبين شكلين من « وجبات » الأسنان .

وأخيراً كان لا بد من إعادة تكوين الأرجل . ففي الأرجل الخلفية يمكن تمييز نوعين ، إما من حيث عدد الأصابع وإما من حيث شكل عظم الكاحل . فبعض الأرجل لها ثلاثة أصابع أما الكعب فذو وجه رسغي مسطح ، وضلع تكعيبي ضيق كما هو الحال في حيوانات التابير (حيوان شبيه بالخنزير) ، ووحيد القرن ، والخيول ؛ أما الأرجل الأخرى فلها أصبعان ، والكاحل ذو وجه رسغي

بشكل بكرة مقسومة الى عنقين بواسطة سن بارز ، كما هو الحال في الخنازير وفرس النهر .

وهناك أيضاً نوعان من الأرجل الأمامية، منها ما هو ذو ثلاث أصابع ومنها ما هو ذو اصبعين . واستعان كوفيه بقوانين التشابه وبنسب القامة فجمع الأرجل الخلفية ذات الأصابع الثلاث مع الأرجل الأمامية ذات الأصابع الثلاث . وجمع الأرجل الخلفية ذات الاصبعين مع الأمامية ذات الإصبعين. وبقي بعدها يربطُ كل رجل بالرأس المناسب له ، وربط كل رأس بنظام أسنانه .

إن رأس الباليتيريوم يشبه تماماً رأس التابير والرجل الخلفية ذات الأصابع الثلاث هي أيضاً شبيهة برجل التابير ، « حتى إن أياً من علماء الطبيعة ، المعتاد على المشابهات ، لا يستطيع الامتناع عن القول حالاً أن هذه الرجل مصنوعة لهذا الرأس وان هذا الرأس لهذه الرجل » (بحوث حول العظام المتحجرة . . . مجلد 3 ص 243) .

إن الأرجل ذات الاصبعين تختص بحيوانات « آنوبلوتيريوم » وكل تجانس حيواني يؤكد على هذا التخصيص . وقد لاقى كوفيه التعب في إنهاء هذا العمل البحثي الذي جاء اكتشاف هيكل عظمي كامل ، في محفرة بانتن (Pantin) ، يؤيد استنتاجاته .

وبنفس الطريقة ، أعاد إحياء عدد من الأنواع الزائلة ، وقرر أن كل نوع متحجر ـ باستثناء كل الشواذات ، (وخاصة عند الثيران والخيول) ـ هو نوع مفقود .

ب) **علاقة الأنواع المتحجرة بطبقات الأرض** .ـ إن الغرض الثاني من بحوث كوفيه في نظره ، وهو الغرض الأساسي، كان ربط العلاقة في دراسة المتحجرات بنظرية الأرض ثم معرفة الطبقة التي نعثر فيها على كل نوع ، ثم التثبت من وضع بعض القوانين العامة المتعلقة بهذا التوزيع .

وقصر بحثه على الفقريات من ذوات الأربع فلاحظ أن البيضيات قد ظهرت قبل الولوديات بزمن طويل ، وإنها أقوى ، وانها أكثر تنوعاً في الطبقات القديمة مما هي عليه فوق السطح الحالي للكرة . ولما كانت الرخويات غير موجودة في حقبة تكون الطبقات الأولى ، ويمكن الظن أن ذوات الأربع البيضية قد ظهرت هي والأسماك بذات الوقت . إن ذوات الأربع البيضية لم تأتِ إلا بعد ذلك بزمن طويل ، اي عندما ترسبت طبقات الكلس الأولى التي تحتوي على صدفيات شبيهة جداً بالصدفيات التي تعيش في الوقت الحاضر .

وهكذا غطت أشكال متنوعة ومتعددة ، بصورة متوالية الجزء من الكرة الأرضية الذي يقع تحت متناول أيدينا . وهناك ثلاثة أنواع أو أشكال متمايزة بشكل واضح . النوع الأول ويشمل الأسماك والزواحف الضخمة . ولم يكن يضم إلا بعض الثدييات الصغيرة . أما النوع الثاني فقد تميز بوجود « بالاتيريوم » ووجود « آنوبلوتيريوم » ، وقد قدم جيبس باريس بقاياهما الأولى . وبدأت الثدييات الأرضية يومئذٍ تسيطر . ويضم النوع الثالث الماموث والماستودون وفرس النهر ووحيد القرن .

وحتى ذلك الحين لم يعثر على بقايا انسان متحجر . واستعرض كوفيه كل العظام المتحجرة والمعتبرة عظاماً ، ولم يجد صعوبة في إثبات زعمه . إن « الانسان الطوفاني الصدفي » (L'Homo diluvii testis) الذي تناوله شوشيزر Scheuchzer هو عظاة عملاقة (سالامندر) . وفي كنستاد عثر تحت

الأرض على جزء من فك ، ولكن الحفريات تمت بدون احتراس . وفي كل مكان آخر كانت العظام المظنون أنها بشرية عظاماً لبعض الحيوانات .

« كل شيء يحمل على الظن أن النوع البشري لم يكن موجوداً في البلدان التي اكتشفت فيها العظام المتحجرة ، في زمن الثورات التي طمرت هذه العظام » (خطاب حول ثورات الكون . . . . ص 68) .

وهكذا أمكن تحديد حقبة رابعة وأخيرة سوف تكون عصر الانسان وعصر الأنواع المدجنة .

علم الاحاثة ومسألة تحول الأنواع . ـ يحدث غالباً ، عندما يراد الحكم على موقف كوفيه بالنسبة الى التغييرية ، ان نواجه نفيه بالنتائج الحالية التي حققها العلم . ولا شيء يناقض الأسلوب التاريخي مثل هذا الموقف : « قال مونتسكيو : ان نقل كل أفكار القرن الذي نعيش فيه الى القرون القديمة ، هو مصدر خطأ ، وخطأ فاضح جداً » (روح القوانين ، 30 ، 14) .

ويتوجب علينا إذاً أن نضع أنفسنا ضمن الجو الفكري الآني ، ثم معالجة النظريات التي حاربها كوفيه ، بشكلها وبوقعها اللذين كانا لها يومئذٍ .

في بداية القرن التاسع عشر كان موضوع تحول الأنواع قد طرح من قبل عالمين طبيعيين متفاوتين في المعرفة : مايية Maillet ، الذي يقع انجازه في منتصف القرن الثامن عشر (راجع مجلد2) ولامارك الذي كان معاصرا لكوفيه .

كان مايه يرى أن كل حي جاء من البحر : « أليس من المعقول على الأقل الإيمان بذلك بعد التيقن من أن كل الأراضي المأهولة ، قد خرجت في الأصل من المياه ؟ » . وليدعم وجهات نظره قدم مايه ملاحظات مدهشة تبين ، في الحقبة التي كتب فيها ، أن العلوم الطبيعية لم تتخلص بعد من مجال الغرائب والغموض . وبدا من الطبيعي أن لا يتوقف كوفيه لمناقشة مثل هذه النظرية حول تحول الأنواع . ثم انه من الممكن التساؤل حول جدية مايه في عمله ، بالمقدار الذي يمنحه اياها بعض مؤرخي العلوم ، وهو الذي قدم كتابه الى « سيرانو دي برجراك الشهير » .

إن أفكار لامارك حول التغيرات التي تصيب الأنواع ، بدت في أعين علماء الطبيعة في القرن التاسع عشر ، وكأنها توسيع بسيط (ممزوج بعلم أكثر) لنظام مايه . ونحن قلما نأخذ من عمل لامارك في الوقت الحاضر إلا « الفلسفة الزوولوجية » ؛ ولكن معاصريه كانوا يقرأون كتبه الأخرى وخاصة « علم المائيات » (هيدرولوجي) . وقد مضى زمن طويل على الفكرة القائلة أنه « بواسطة التجارب الدقيقة ، المدروسة والمتتالية يمكن إجبار الطبيعة على كشف سرها » ، وان « كل السبل الأخرى لم تنجح على الاطلاق »(1) . ان لامارك ، بدون تجريب ، قد استطاع خلق كيمياء لم يخش أن يواجه بها كيمياء لافوازيه Lavoisier(راجع كوفيه ، Cuvier ، مدح تاريخي للامارك ، 1832) .

وفي مجال علوم الحياة ، قال كما قال مايه أن « كل شيء كان سائلاً في البداية ؛ وان السائل ولّد

(1) هذه المقتطفات أخذت من « مقدمة بوفون » لترجمة كتاب « إحصاء النباتات » الذي وضعه هالس Hales ونشر سنة 1735 .

الحيوانات البسيطة، في باديء الأمر، أمثال السوطيات وغيرها من الأنواع النقاعية (التي تعيش في المستنقعات) والميكرومكوبية ؛ وانه بفعل الزمن، وبفعل اكتساب العادات المتنوعة ، تعقدت اجناس الحيوانات وتنوعت تنوعاً كالذي نراه الآن» [1] .

هكذا لخص كوفيه العقيدة اللاماركية وبعدها نفهم بصورة أفضل الحكم الذي أصدره على لامارك ، فصنفه بين أولئك العلماء الذين « مزجوا الاكتشافات الحقة التي أغنت معارفنا ، بمفاهيم غريبة عجيبة » ، والذين أقاموا بإتقان « عمارات واسعة على قواعد خيالية » .

في نظر كوفيه يجب أن تضاف النظرية البيولوجية عند لامارك ، ضمن نفس السلم وضمن نفس النسيان ، الى نظريته في الكيمياء ، ولنفس السبب: إنها ثمرة الخيال فقط وليست وليدة الرصد والتجريب .

« بمعزل عن كل استدلال زائف بالتفصيلات ، انها ترتكز على افتراضين كيفيين : الأول أن البخار المنوي هو الذي يكون النطفة ؛ والآخر هو أن الأماني والرغبات والجهود قد تولد الأعضاء . إن نظاماً يرتكز على مثل هذه الأسس ، قد يرضي خيال شاعر ؛ والعالم الميتافيزيكي يمكنه أن يستخلص منه جيلاً آخر من الأنظمة والمذاهب . ولكن هذا النظام لا يمكنه أن يتصدى ، ولو للحظة لفحص من قام بتشريح يد أو أمعاء ، أو شرح ريشة » (كوفيه المدح التاريخي للامارك) .

ما هو إذاً موقف كوفيه من مسألة تبدل الأنواع ؟ . لقد رأى بوضوح أن المسألة تطرح وقد صاغها بعبارات واضحة تماماً فقال :

« قد يقال لي لماذا لا تكون الأعراق الحالية تغيراً لهذه الأعراق القديمة التي نجدها بين المتحجرات ، تغييرات ربما تكون قد حدثت بفعل الظروف المحلية الاقليمية وبفعل تغير المناخ ، ووصلت الى هذا الفارق الكبير بفعل تطاول السنين؟» (خطاب حول ثورات الكون . . . ص58).

يقول وهو يستعيد حجة سبق وأدلى بها بوفون : على هذا يمكن أن نجيب بأن الأنواع قد تغيرت تدريجياً ، ويجب أن نجد أثراً لهذا التغير . فبين حيوانات « البالاتيريوم » وحيوانات الماستودون (أشباه الفيلة) وبين هذه الأخيرة وبين الحيوانات المعاصرة يجب العثور على الحيوانات الوسيطة ، « وهذا ما لم يحصل حتى الآن » . وحتى لو كانت الأنواع القديمة غير ثابتة ، فالثورات العديدة التي كان عالمنا مسرحاً لها لم تكن لتترك لها الوقت الكافي لتتحول تلقائياً . (نفس المرجع ص 58-64) .

وهكذا يدلنا تفحص الطبيعة الماضية على ثبوتية الأنواع . وتأمل الطبيعة الحاضرة يقودنا الى نفس الاستنتاج . وهذا لا يقلل من صحة القول بأن الحياة قد عرضت عبر العصور الجيولوجية مظاهر متنوعة ، وان الحيوانات المختلفة قد تعاقبت على سطح الكرة الأرضية .

(1) « خطاب حول ثورات الكرة الأرضية . . » ص 23 . ويمكن عرض ، ونعرض بالتأكيد بشكل مختلف ، نظام لامارك . ولكن في الدراسة التي نحن بصددها الآن ليس المهم معرفة كيف نقرأه في الوقت الحاضر ، « قراءة تتأثر بكل حركة الأفكار التي حصلت في الفترة التي تفصل وقته عن وقتنا » ، ولكن كيف كان معاصروه يقرأونه ، وبشكل خاص مناقضة كوفيه . ولهذا اعتقدنا أنه من الواجب أن نورد حرفياً خلاصة عقيدته كما قدمها كوفيه .

وخلال حقب طويلة لم تقبل الا ظاهرتان فقط في تاريخ الحياة هما ظاهرة الخلق وظاهرة الطوفان . إن الحالة الراهنة للعالم هي نتيجة لتغير حدث للواقع القديم بفعل الطوفان .

هذه الوحدة في زمن الخلق تبدو وكأنها كانت مقبولة من قبل بوفون في نظريته حول الأرض : « . . . بمعزل عن شهادة الكتب المقدسة ـ هكذا قدم ـ الا يوجد سبب للاعتقاد بأن كل أنواع الحيوانات والنباتات هي تقريباً قديمة سواء بسواء ؟ » ثم في تتمة عمله يبدو وكأنه قد تحول عن هذا الرأي : « إن وجود الأسماك والقشريات قد سبق بزمن بعيد وجود الحيوانات الأرضية » ، كتب ذلك في « تاريخ المعادن » وصرح في « أزمنة الطبيعة » : « ان الانسان قد خلق في الأخير » .

حول هذه المسألة الكبيرة تبقى فكرة كوفيه غامضة أنه لا يقبل ، بعكس ما يقال عموماً ، بنظرية الخلق المتتالي : « وأخيراً ، عندما أزعم بأن القاعد الصخرية تحتوي عظاماً من عدة أنواع ، وان الطبقات الصخرية السهلة التفتت تحتوي أنواعاً عدة لم تعد موجودة ، فأنا لا أزعم ضرورة وجود خلق جديد لاحداث الأنواع الموجودة اليوم . أقول فقط انها لم تكن موجودة في الأمكنة حيث نراها حالياً ، وانها جاءت من مكان آخر » (خطاب حول ثورات الكون ص 64) .

إن تتالي الحيوانات ـ وهو أمر أكد عليه كوفيه ـ يقتصر بنظره على بعض القارات التي ـ على أثر ثورات الكون الكبرى ـ أعادت تأهيل الكرة ، بفعل الهجرات ، انطلاقاً من مصدر مشترك ، ذي موقع مجهول ، حيث تتواجد الأنواع التي نسميها متحجرات والأنواع التي ما تزال حية . إن الحيوانات الحالية ليست إذاً إلا تصفية فقيرة من الماضي (ج. روستان في كتابه : « رسيمة لتاريخ البيولوجيا » ، (باريس 1945، ص 127)، وقد أعطى فيه مثل هذا التفسير للنص الذي أورده كوفيه) .

ويبدو أن كوفيه قد فهم الانسان من خلال وحدة الخلق :

« كل شيء يحملنا على الاعتقاد أن النوع البشري لم يكن موجوداً على الاطلاق في البلدان التي اكتشفت فيها العظام المتحجرة ، في الزمن الذي قامت الثورات فيه لتطمر هذه العظام ؛ . . . ولكني لا أريد أن أستنتج أن الانسان لم يكن موجوداً على الاطلاق قبل هذه الحقبة . وربما سكن بعض المناطق القليلة الاتساع ، ومنها انطلق ليأهل الأرض بعد هذه الأحداث الرهيبة ؛ وربما أيضاً ، كانت الأمكنة، حيث كان يسكن ، قد غمرت بكاملها بالمياه ، ودفنت معها العظام ، في أعماق البحار الحالية ، باستثناء العدد القليل من الأفراد الذين حافظوا على استمرارية النوع » (خطاب حول ثورات الكون ص 64) .

حول هذه النقطة يبدو علم كوفيه متأخراً عن علم بوفون .

* * *

ومنذ عصر كوفيه جاءت النظرية التطورية تعدل بعمق على وجهات نظر عالم الاحاثة حول علم المتحجرات. هل يتوجب بعد هذا اعتبار عمله عملاً باطلاً ؟

عندما نبحث في وضع نظام طبيعي ، وفي عرض جدول بالعلاقات المنطقية بين الأجناس . نجد

أن كوفيه قد حصل على نتائج تدخل بدون جهد في بعد تغييري تحولي .

وهو حين قاوم مبالغات فلاسفة الطبيعة وتلاميذهم ، قدم لمجال علم الاحاثة الناشيء المعنى ، والاهتمام بالدقة ، وهما أمران جعلا التطورات اللاحقة ممكنة ؛ وهو بكشفه عن العوالم الزائلة ، قد كبّر بغير حدود مجال الحياة . إن الطرق التي ابتكرها ، هي على الأقل ، في روحها ، الطرق التي نستعملها اليوم ، ورغم أنه استخلص ، من غياب الأشكال الوسيطة المؤقت ، استنتاجات مطلقة ، لم يتأخر المستقبل في دحضها فقد فتح ، باقتراحه البحث عنها ، سبيلاً خصباً تماماً .

II ـ العمل الاحاثي الذي قام به جوفروا سانت هيلير

إن العمل الوصفي الذي قام به جوفروا سانت هيلير في علم الاحاثة عند الفقريات بسيط للغاية ، فقد درس بنية بعض فصائل التماسيح في جوراسيك نورمانديا [فرنسا] . وقام بوصف بقايا الثدييات المجلوبة من الأحواض الثالثة في أوفرنيا (Auvergne) ، وعرَّف بالسيفاتريوم (Sivatherium) وهو حيوان مجترٌ عثر عليه في الأراضي من العصر البليوسيني [وهو الحقبة الأخيرة من العصر الثالثي] في الهمالايا .

ولكن اسمه يجب أن يحفظ رغم كل شيء في تاريخ علم الاحاثة ، لأن أفكاره حول الأشكال المتحجرة قد احتلت بالتأكيد مكانة مهمة في وجهات نظره حول تحولية الأنواع .

ومنذ بداية مهمته طرحت هذه المسألة نفسها على تفكيره ، والأصح أنه هو وكوفيه قد طرحاها بالشكل التالي في عمل مشترك : كتبا يقولان : «ألا يتوجب أن نرى ، فيما نسميه الأنواع ، الأجيال المتنوعة لنمط واحد؟» هنا نلمس تأثير بوفون الذي تتوافق تبدليته مع تنويع يتوافق لا مع التقدم بل مع التقهقر .

ويبدو جوفروا وكأنه قد غابت عنه تماماً هذه المسألة في بحوثه التشريحية الفلسفية ، لأنه لم يؤول ، على الإطلاق ، وحدة التصميم وكأنها نتيجة سلالة واحدة . ثم انه ، في بحوثه الأولى حول أنواع التماسيح المتحجرة (1828) ، يتساءل إذا كانت الأنواع الحالية لم تتحدر من أنواع بائدة .

ولكنه يصرح في الحال : « ولكن الفكرة المعاكسة تخطر بالبال بشكل طبيعي أكثر ؛ وإلا فإن أيام الخلق الستة كان يجب أن تتكرر ، وأن تنشأ كائنات جديدة بفعل عملية خلق جديدة . إن مثل هذا الحكم ، المناقض لأقدم الأعراف التاريخية ، غير مقبول » (مذكرات الميزيوم « المتحف » في القانون الطبيعي ، مجلد 12) .

إن مذكرة نشرت سنة 1831 بعنوان « درجة تأثير العالم المجاور في تحويل وتغيير الأشكال الحيوانية » ، سوف تحدث تجدداً حقيقياً في فكر جيوفروا . فهو في محاولته تأسيس علم للأشكال (مورفولوجيا) ، عكف فقط على دراسة المشابهات ، المعتبرة من جانبه وكأنها الطريقة الوحيدة الفلسفية بحق . ولكنه اعتبر أن الغاية النهائية لعلم تنظيم البنية لا تكمن هنا حالياً .

وتحقق تقدم جديد بفعل دراسة الفروقات ، المعتبرة لا كعارضٍ في التنظيم ، أو كوسيلة لتصنيف الكائنات ، والتمييز فيما بينها ، بل كنقطة انطلاق في كيفية فهم وتعريف علاقاتها . إذ هناك ، بحسب تعبير جوفروا تقريباً ، مبدأ أول في السببية به تتحكم المادة العضوية وفقاً لخطة واحدة ؛ ثم هناك مبدأ ثانٍ في السببية بموجبه ينحرف كل كائن عن الخطة الأصلية .

واننا نجد في تنوع الوسط المحيط « أسباب هذه السببية الثانية » . إذ في الواقع ، يتغير الوسط المحيط ويتبدل ، فيحدث تعكيراً أو اضطراباً في النمو الطبيعي للجسم الحي .

ويجدر أن توضع ، في المقام الأول من «المحفزات الحيوية»، الظاهرة التنفسية . إذ ان عن طريق التنفس « تتحقق شروط وظروف التكون المنظم » . ليكن مقبولاً أن المجرى البطيء والمتتالي للقرون يحدث على التوالي تغيرات في نسب مختلف عناصر الفضاء . وتنتج عن ذلك نتيجة ضرورية حتماً وهي أن التنظيم قد أصابها واختبرها بما يناسب .

إن المفعول البطيء للزمن يجعل الخراب في شكل الأجسام الحية عميقاً ودائماً .

وهكذا « كانت للأرض حيوانات في أعمارها المتنوعة ، فكانت في بادىء الأمر حيوانات الحقبة الأولى المسماة « السابقة على الطوفان » ثم حيوانات الأراضي الثالثية ، وأخيراً تتالت حيوانات « الزوولوجيا» الحالية [أي مجموعة الحيوانات الحالية] » .

وظنَّ جوفروا أن هذه التغييرات لم تجرِ بشكل غير محسوس فقال :

« بالتأكيد أنه ليس بتغيير غير محسوس قد توصلت الأنماط الدنيا من الحيوانات البيضية الى درجة عالية من التنظيم ، وكذلك مجموعة الطيور . فقد كفى حصول حادث ممكن ، وقليل الضخامة في منشئه ، إنما عظيم الأهمية جداً في مفاعيله (حادث طرأ لإحدى الزحافات ، وهو أمر ليس من شأني أبداً أن أحاول حتى وصفه) ، حتى تتفاعل في كل أجزاء الجسم شروط النمط الطيري » .

ربما يمكننا أن نرى في جوفروا ، كما يظن ر. برتيلوت Berthelot ، ملهم التغييرية التجريبية .

III ـ بدايات علم الاحاثة في أميركا

في الوقت الذي تطور فيه علم إحاثة الفقريات ، في فرنسا ، بتأثير من كوفيه Cuvier . أخذ هذا العلم ينشأ أيضاً في أميركا الشمالية ، إنما بشكل خجول ـ إن أمكن القول ـ لا يدل أبداً على أنه سوف ينمو فيما بعد . لقد اقتصر على جهود الهواة بشكل خاص ، وكان باعثه حب المدهش والغريب ، وهو حب كان في الماضي قد لاقى الكثير من الانتشار في أوروبا .

ومع ذلك ، فإنه في أميركا الشمالية يوجد واحد من أقدم الشهود على بحث عن الفقريات المتحجرة . إذ يبدو أن القبائل الهندية [الهنود الحمر] قد استعملتها « كعلاجات » . كما كانت الصيدلانة الصينية تستعمل « أنياب التنين » ، ويمكن الظن أن أقدم بقايا الفقريات المحفوظة اليوم في مطلق « متحف » هي أسنان عثر عليها بين سنة 700 وسنة 900 ، وان الإحاثي كوب Cope عزا ،

سنة 1874 ، الفناكودس (Le Phenacodus) الى ثديي من العصر الثالثي .

وكما كان الحال في أوروبا ، ان الفضول والحشرية قد أيقظا ، باكتشاف عظام ذات أحجام كبيرة ، عزيت في بادىء الأمر الى العمالقة ، ثم الى حيوان يشبه الفيل . ومنذ سنة 1762 شبّه دوبنتون Daubenton ، عظم فخذ « الماستودونت » الأميركي بعظم فخذ الماموث السيبيري ، والفيل الحالي ، وهو تشبيه عاد اليه ، في سنة 1768 ، هنتر Hunter ، فيما يتعلق بالفكوك السفلى ، فبين أن « الخرطومي » (Proboscidien) في أميركا الشمالية يشكل نوعاً خاصاً ، ربما كان قد انقرض .

وهناك اسمان مسيطران في بدايات « إحاثة » الفقريات في أميركا الشمالية وهما : س. ويستار C. Wistar وت. جيفرسون T. Jefferson .

كان ويستار (1761 -1818) استاذ تشريح بشري في جامعة بنسلفانيا ؛ وكان أول مؤلف لكتاب مفصل وموسع في التشريح نشر في أميركا . وقد أصدر ، سنة 1799 ، حول الـ «ميغالونيكس» Megalonix الذي عثر عليه في فيرجينيا ، دراسة « نموذجا في الحذر ، وفي الوصف العلمي الدقيق ، وفي الاستقراء » (سمبسون Simpson) . ولم يكن يمتلك الا أجزاء من أعضاء ، ومع ذلك استخلص منها استنتاجات جدّ صحيحة حول نوعية حياة الحيوان ، وأوضح بدقة ميوله حين بيّن وجود بعض التشابه بين رجل الميغالونيكس ورجل « البارسو » (Paresseux) كما عرفه من خلال وصف دوبنتون .

كان جيفرسون (1743 -1826) ، رئيساً لجمهورية أميركا ، وكان أول من عرّف ، في سنة 1797 ، بهذا الثديي العديم الأنياب ، ذي المخالب القوية ، فسماه لهذا السبب « ميغالونيكس » . واعتقد أنه أمام أكبر وأضخم حيوان « ذي ظفر في كل أصبع » (وقدر وزنه بما يعادل 893 ليبرة [الليبرة 500 غرام تقريبا) . واستنتج من ذلك أنه ربما كان عدو الماموث (أي الماستودون أو الحيوان المتحجر الموجود في أوهايو Ohio) . (نذكر أنه في آخر القرن الثامن عشر يقع تأسيس متحف الإحاثة في فيلادلفيا بفضل بيل Peale) .

وصف ر. هارلان R. Harlan (1796 -1843) ، وليس بدون خطأ ما ، عدداً من الفقريات المتحجرة ، وحرص ، مثل كوفيه في أوروبا ، على تحديد تسلسل وتراتب مجموعة الحيوانات . وهناك أسماء مختلفة تستحق الذكر في هذه الحقبة التي سبقت التطور الضخم الذي أصاب علم الإحاثة بالنسبة الى الفقريات في أميركا الشمالية : هتشكوك Hitchcock (1793 -1864) ، وهو مؤلف دراسة حول آثار الفقريات المتحجرة ؛ ثم بدفيلد Bedfield (1789 -1857) واليه يعود الفضل في بحوث حول أسماك « ترياس » (Trias) ، الخ

وهناك أسماء تستحق الذكر في أميركا الجنوبية . ويمكن أن نرى في ما نشره بدرو سيزا دي ليون (Pedro Cieza de Leon) في « صحيفة البيرو » (Cronical del Peru) (1553) أقدم نص يتعلق بالفقريات المتحجرة . وفيها يتكلم المؤلف عن عظام العمالقة . مثل هذا الرأي موجود في عدة مذكرات تعود الى آخر القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر ، والايمان بسلالة من العمالقة

كانوا قد سكنوا في الماضي أميركا الجنوبية كان ما يزال حياً في أواخر القرن الثامن عشر . إيمان لم ينل الاجماع كما تدل عليه هـذه الأسطر من جـوان دي فيلاسكـو Juan de Velasco الذي قاوم سنة 1789 « الجاحدين وخاصة الفلاسفة ، الذين لم يستطيعوا إنكار الوجود الفعلي لجثث العمالقة الاميركيين ، ولكنهم أرادوا ، رغم الحقيقة الواقعة ، تعميدها بأسماء ضخمة مثل «هيوبوتام» ، وفيل ومامـوث » (ذكره هوفستتر Hoffstteter في الثدييات من الحقبة الأولى من العصر الرابع في جمهورية الاكوادور ، 1952) .

IV ـ علم الإحاثة بين كوفيه وداروين

بين الحقبة التي كانت فيها اكتشافات كوفيه مسيطرة بحدة على العقول والحقبة التي سوف تعطى فيها « نظرية التطور » لعلم المتحجرات قفزة جديدة ، تمتد حقبة هي بالتأكيد أقل إشـراقاً ، ولكنها موسومة مع ذلك بتقدم مهم .

بالنسبة الى فرنسا ، يجب ، في البداية ذكر هـ. دوكروتي دي بلانفيل Ducrotay de Blainville الذي كان عالماً تشريحياً بشكل خاص . لقد قام بوصف بعض الأنواع الزائلة من الثدييات ، وهو الذي أعطى علم المتحجرات اسم « الباليانتولوجيا » .

بدأ إدوار لارتت E. Lartet (1801- 1871) بعلم الإحاثة من خلال بحوثه فوق جبل سانسان ، وهو مكمن غني خاصة بالثدييات المتنوعة . ودراساته فوق سانسان وكذلك فوق مكمن كائن عند سفح جبـال البيرنـه (سان غـورنس) كشفت عدة أنمـاط مهمة ، من بينهـا يجدر هـنـا ذكر « البليـوبيتك » Pliopithèque ، أول قرد متحجر تم اكتشافه وهو يذكـرنا بـالقرد جيبـون Gibbon المعاصر ؛ وأعلن الدريوبيتك ، وهو قـرد كبير بصـورة إنسان ، عن الغـوريلا وعن الشـمبـزي . ونحن مدينـون أيضاً للارتت Lartet ، بأعمال مهمة حول « الخرطوميات » المتحجرة ، وحول هجرات حيـوانات العصر الرابع ، الخ . وكان لارتت من الأوائـل الذين اهتمـوا « بالإنـسـان المتحجر » . وعمله حـول المحطة البشرية في أورنياك Aurignac جعلت منه في هذا المجال ، مـرجعاً من الـدرجة الأولى . فقـد قسم الأزمنة الرباعية الى أربع مراحـل : عصر « الدب الكبـير » ، عصر المامـوث ، عصر الرنـة ، وعصر الأرخص Auroch . وبالتعاون مع الانكليزي كريستي ، نشر عن الأزمنة السابقة على التاريخ مؤلفاً بقي غـير مكتمل «Reliquioe aquitanicœ» . ويمكن القـول أن لارتت قد أضـاف الى علم الإحاثـة البحث عن أصل البشرية .

ونستطيع أن نذكر أيضاً هنا ب . جرفي P. Gervais (1816- 1879) الذي عـرَّف ، في كتابيـه « علم الحيوان والإحاثة الفرنسية » (ط 2 ، 1859) و« علم الحيوان والإحاثة العامة » (1867- 1869) ، من خلال أوصاف واضحة ودقيقة ، بعدد كبير من الفقريات . .

وفي انكلترا ، كان ر. أوين R. Owen ، الذي أشرنـا الى دوره المؤثر في تـطور علم التشريـح المقارن ، أيضاً ، عالماً إحاثيـاً كبيراً . ونحن مدينون له ببعض الدراسات حـول الأسماك من العصر الأول ، وحول مجموعة البرمائيات العظمية الرأس . ولكن أعماله المهمة حول الزحافات ، وقد بدأ

بها سنة 1839 ، واستكملها طيلة نصف قرن ، هي التي كرست شهرته كعالم إحاثي . فقد بيَّن أن الزحافات البحرية من العصر الثاني والمصنفة من قبل كونيير تحت اسم « ايناليوسوريا » شكلت سلكين خاصين : « الايكتيوبتيريجيا » و« السوروبتيريجيا » . وأعطى وصفاً «لـلسلحفيات» الجوراسيك الأعلى في انكلترا وقدم عدة مذكرات حول « التمساحيات » المتحجرة في انكلترا ، وحول « الديناسوريات » وحول « الصوريات المجنّحة » .

وكان ، بشكل خاص ، أحد الأوائل الذين عرَّفوا بالزحافات المسماة « تيرومورف » في افريقيا الجنوبية ، مبيناً مشابهتها الوثيقة للثدييات . وخصص أيضاً أعمالاً مهمة للثدييات الأوروبية من العصر الثاني وللحيوانات التي انقرضت حديثاً في أوستراليا (طيور وثدييات) .

في ألمانيا ، استكشف كوب Kaup مناجم ابلشيم Eppelsheim التي قدمت بقايا « الدينوتيريوم » العملاق ، في حين نشر هـ . فون ماير H. Von Meyer أبحاثاً مهمة حول الزحافات ، وأشار ، سنة 1861 ، الى واحد من المتحجرات الأكثر إثارة التي كشفها لنا علم الإحاثة وهو : « الاركوبتريكس » (Archoepteryx) في الجوراسيك الأعلى في بافاريا ، وهو متحجر يعتبر نقلة بين الزواحف والطيور .

في أميركا الشمالية ، عرَّف ليدي Leidy وهو مشرح ممتاز ، بالعديد من الأشكال الجديدة في الثدييات الثالثية ، وأبرز الروابط التي تجمع حيوانات أوروبا وأميركا . ونشر ل. أغاسيز L. Agassiz (1807 -1873) من أصل سويسري ، مقيم في الولايات المتحدة ، مؤلفاً أساسياً حول الأسماك المتحجرة (بحوث حول الأسماك المتحجرة ، خمس مجلدات ، مقياس 4 مع أطالس ، 1833 -1843) وفيه وصف ورسوم لكل العيِّنات المهمة المعروفة يومئذٍ . وفي كتاب آخر : « أبحاث حول أسماك الصلصال الأحمر القديم » ، استبق بشكل ما هذا التطور الملحوظ الرائع في الدراسات حول الفقريات الدنيا ، وهو تطور تميزت به الإحاثة الحديثة .

وفي أميركا الجنوبية ، يعتبر الحدثَ الأساسيَ الجديرَ بالذكر البدءُ بالحفريات المنهجية . فقام ودل Weddell ، في سنة 1845 ، بأبحاث في بوليفيا ، مبرزاً العديد من عظام ثدييات القسم الأخير من العصر الرابع Pleistocènes التي ما يزال بعضها محفوظاً في باريس في متحف التاريخ الطبيعي .

V ـ إحاثة الثدييات بعد داروين Darwin

رغم أن داروين ، في كتابه « أصل الأنواع » قد تكلم قليلاً عن الحيوانات المتحجرة ، إلا أنه ربما أثر تأثيراً سريعاً وحاداً على علماء الإحاثة . وصف البرت غودري Albert Gaudry الانطباع الذي تحصل له عند قراءة هذا الكتاب بما يلي :

« قرأت الكتاب « حول أصل الأنواع » بإعجاب بالغ ؛ وإذا جاز لي أن أستعمل مثل هذا التعبير ، فإني أقول انني تذوقته بتمهل ، كما نشرب ، بجرعات صغيرة مشروباً لذيذاً ؛ وقد عثرت على جملة من الملاحظات والأفكار تتوافق مع ما استطعت التوصل إليه حول تسلسل الكائنات في العصور الماضية » .

إنطلاقاً من هذه اللحظة سوف تطبع نظرية « التطور » بطابعها كل أعمال الإحاثة .

في فرنسا : **إنجازات البرت غودري** .ـ يقال في أغلب الأحيان ان عمل كوفيه ، نظراً لسمته الايجابية الخالصة ، المرتبطة بالوقائع ، الحذرة من التعميم ، قد أعاقت نهضة العلم الإحائي . والحقيقة ان مثل هذا التأكيد لم يكن أبداً من فعل عالم إحاثي ، وسوف نرى بالضبط أنه في الطريق الذي فتحه كوفيه Cuvier ، تطور في فرنسا علم الإحاثة التطوري .

قلنا أن كوفيه قد رفض فرضية تحول الأنواع، لأن الطبيعة التحجرية لم تكشف له عن أنماط وسيطة . وبعد وفاته، إتجه تطور البحوث الاحاثية ـ وهو يكثر من هذه اللحظات التي فيها تبدو لنا بعض الأشكال وكأنها تصل الى « الأرض » ـ ليرتكز على مسألة التطور .

وهكذا تساءل البرت غودري (1827 -1908) هل الأنواع التي تعاقبت كانت موضوع خلق مستقل ؛ أم أنها كانت قد تحدرت بعضها من البعض الآخر بفعل تغيرات بطيئة . وقد صرَّح ، بأن أنصار فرضية ثبوتية الأنواع ، يجب أن يقبلوا ـ من أجل تفسير ظهور « ثبوتية الأنواع » ـ بخلق ماهيات جامدة خلقاً يحصل بشكل عفوي الى حدٍ ما ، أو أيضاً : إن نطفاً بقيت بحالة الكمون منذ نشأة الأشياء ، دبت فيها الحياة فجأة . ويحلل أنصار فرضية تناسل الأنواع كما يلي : نحن لا نفهم هذه الثدييات التي تظهر في حالة الرشد بكامل وبرها وعيونها وآذانها ، وكلها استعداد للحركة والاغتذاء ؛ ونفهمها بصورة أقل أيضاً وهي تخرج من البذرة تقضي الحقبة الجنينية خارج الرحم . والتفسيرات الأكثر بساطة يجب دائماً تفضيلها ، وعلى هذا الأساس فإن فرضية التحولات هي الأكثر قبولاً .

وهناك برهان وضعي يدعم هذا الأسلوب في الرؤية : إن البحوث الإحاثية تُكثِّرُ أو تبدو وكأنها تُكثِرُ هذه الأشكال الوسيطة التي لم يستطع كوفيه ان يلحظ وجودها ؛ والاعتراض الرئيسي على فرضية التناسل يكون بالتالي قد ارتفع . ان الفراغات ، في السلاسل الحيوانية ،أخذت تمتلىء بصورة تدريجية ، وهكذا ، اضطر الاحاثيون من النصف الثاني من القرن الأخير الى القبول بنظرية تناسل الأنواع باعتبارها التفسير الوحيد العقلاني للمشابهات الموجودة بين كائنات الطبيعة الماضية وكائنات الطبيعة القائمة .

تلك هي الآراء التي وسَّعها غودري في كتابه الكبير حول « الحيوانات المتحجرة في اتيكا » (1862) ، ثم عاد اليها في كتاب « تسلسل عالم الحيوان » (ثلاثة مجلدات ، 1878 -1890) ، وفي كتاب « تجربة في الاحاثة الفلسفية » (1896) ، وهي قد الهمت كل بحوثه .

ولكن كل هذه الأعمال كانت محكومة بالرغبة في البحث عن الأشكال الوسيطة وبإثبات التسلسل . إن الإحاثي التطوري ، مهما بدا ذلك غريباً ، ورغم أنه أخذ عن داروين فكرة التطور ، قد سار في الطريق التي رسمها كوفيه . وبقيت هذه الطريق مدموغة بمفهوم موروث عن القرن الثامن عشر ، مفهوم سلم الكائنات . وإذا كان من غير الممكن ، بعد ذلك ، وبالتأكيد ، ترتيب كل الأنماط الحية ضمن نفس الخط ، ابتداءً من الأشكال الدنيا في المملكة النباتية ، ثم الارتقاء حتى «الانسان» ، الا أن فكرة التتابع الدائم ، هي التي كانت تراود أفكار الاحاثيين ، ولكن السمة التاريخية في الحياة ـ

التي كان يمكن بسهولة استخراجها ، على ما يبدو ، من عمل كوفيه ـ لم تظهر بوضوح حتى ذلك الحين .

وظل تأثير جوفروا سانت هيلير أيضاً ظاهراً . وكما عند هذا الأخير ، نجد عند غودري Gaudry ما يمكننا أن نسميه استحواذ الوحدة . كتب يقول : « ان البحث عن الوحدة لا يُتعِبُ أبداً ، انه يتجاوب مع ميل لا يقاوم في النفس » . ويميز غودري بالتالي ، بين مرحلتين في تاريخ الإحاثة : الأولى تتميز بالبحث عن الفروقات ، إذ توجب ، في بادىء الأمر ، تبيين أن الكائنات المتحجرة هي ليست مماثلةً للكائنات الحية ، وانها ، في كل حقبة جيولوجية ، برزت بمظهر خاص . ولكن « يوجد في الطبيعة شيء أكثر فخامة من التنوع الظاهرِ في الأشكال ، والوحدة هي التي تربط بينها » ؛ والبحث عن المشابهات يجب أن يكون في النهاية موضوع العلم .

في مثل هذا المفهوم ، لا يُحْدِثُ التطورُ سماتٍ أصيلة عميقة ، وإذا كان غودري قد افترض أن التطور يمكن أن يكون خالقاً للجدة ، فإنه قد عبَّر عن ذلك بكلمات تدل على أنه لم يكن يعتبر هذه الجدة مهمة جداً .

« من المؤكد أن سماتٍ جديدةً قد حدثت حتماً من وقت الى آخر ، وإلا لما أمكن تفسير كيفية تغير الحيوانات وتبدلها ، بدلاً من أن تدور ضمن نفس الدائرة . ما أريد قوله ، هو أنه في أغلب الأحيان ، وبين أنواع الحقب المتتالية ، تكون الفوارق صغيرة جداً وتكون المشابهات كبيرة جداً ، الى درجة يتوجب معها ـ من أجل رسم الحدود بينها ـ التمسك بتفصيلات طفيفة » .

في سويسرا : عمل روتيماير (Rütimeyer) ـ في الوقت الذي بدأ فيه غودري في فرنسا القيام بأعماله المشهورة ، كان الاحاثي السويسري ل. روتيماير (1825 -1895) يعالج إحاثة الفقريات بصورة أصيلة خاصة ، مفتتحاً العرف الرائع الذي استمر حتى أيامنا في متحف التاريخ الطبيعي في بال Bâle .

ومنهجهُ في تحديد عمر الاسنان (أودونتوغرافيا odontographie : «Beiträge zur Kenntniss der fossilen Pferde und zu einer vergleichenden odotographie der Hufthiere im Allgemeinen, verh. natur. Ges. Basel, 1863»)كان نقطة الانطلاق في البحوث حول التسنين ، وهو أمر مهم في مجال إحاثة الثدييات ، وبذات الوقت ، قدم هذا المنهج محاولة في مجال التطور النوعي (Phylogénie) عند الخيول . كان روتيماير من الأوائل الذين أخذوا ، انطلاقاً من المتحجرات ، يعالجون مسائل البيئة الجغرافية . وقد أصدر فرضية مركزية التشتت فيما خص الحيوانات الثديية : مركز شمالي ومركز جنوبي ، وقد اقترح اقامة مُوازنات بين حيوانات الحقبة الايوسينية (Eocène) الوسطى في الايجركنجن Egerkingen وحيوانات الجبال الصخرية [الولايات المتحدة] . وإذا كانت محاولته قد بدت غير صحيحة ، إلا أنها ساهمت في حمل الاحاثيين على المقارنة بين حيوانات القارات .

وهناك قسم أصيل جداً في عمل روتيماير هو درسهُ لثدييات في عصور البالافيت [المساكن المقامة في المياه من أيام العصر الحجري الجديد والعصر البرونزي] ، أي في العصر الحجري الجديد ، حيث

عالج مسألة تدجين الحيوانات (Die fauna der Pfahlbauten in Schweiz) . ويمكن القول أن كل المؤلفين الذين اتبعوا هذا الخط في البحوث قد استقوا من هذا المصدر .

في ألمانيا : مُوَسِّع ك . فون زيتل K. Von Zittel ـ إن التقدم المستمر في الإحاثة بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر يقضي بإبراز المعارف المكتسبة . إنها لمهمة شاقة تلك التي قام بها كارل فون زيتل (1839 -1904) ؛ كان استاذاً في جامعة ميونخ ، ونشر ، بين سنة 1876 و1893 ، كتابه « موجز في علم الإحاثة » الذي جدد وأكمل كتاب بيكتت Pictet . إن مثل هذا الكتاب ليس عملاً تجميعياً على الاطلاق ، بل هو مراجعةٌ انتقاديةٌ ، ترتكز على معرفة مباشرة بالعائلات وبالأنواع . وكان للعمل وقع عميق واستخدم كنموذج لكل الكتب اللاحقة . والمجلدان المخصصان للفقريات رائعان بشكل ملحوظ . وليس أفضل من أن نذكر هنا الحكمَ المُجَازَ الذي كتبه ش . ديبيريه (Ch. Depéret) بشأنه :

« لم تكن فقط ، كل الأنواع المتحجرة ، الموصوفة حتى الآن ، من قبل الاحائيين ، من كل البلدان ، موضوع تحديد وموضوع تشخيص جديدين ؛ بل ، أيضاً ، تم درس كل مجموعة كبرى في علاقاتها التنظيمية (الخَلْقِيَّة) التشريحية والزوولوجية ، مع الأشكال الصورية التمثيلية في العالم الحاضر ، بشكل يعطي لكل نمط متحجر المكانة المعقولة التي تلائمه ضمن تصنيف عام لسلسلة الكائنات . . » .

وبعد نهاية دراسة كل مجموعة ، يعود زيتل فيرسم تاريخ المجموعة ، ومنشأها في الزمن ، وتطورها عبر العصور الجيولوجية ، وعلاقاتها الخَلْقِيَّة مع الفروع المجاورة .

إن روح المؤلف مطبوعة بأفكار تطورية ، وبالنسبة الى زيتل ، ان هدف الاحاثة هو إعادة تركيب تاريخ الحياة .

وهو ، فضلاً عن ذلك ، يناهض بعض التعميمات المتسرعة ويرفض استعمال الطريقة النشوئية في الخلق (ontogénie) في بناء الشجرات العائلية النسبية : لو كان علم الأجنة قادراً حقاً على إعطائنا الأسلاف المتحجرة لكل مجموعة ، لتوجب أن نعثر على بقاياها في الطبقات الجيولوجية . ولكن الواقع ليس هذا على الاطلاق . وبشكل أعم ، يمكن التأكيد ، (يقول زيتل) ، على السمة الواهنة في شجرات الأنساب المقررة والموضوعة ، ولذا أطلق دعوةً الى الحذر والوعي ، بوجه تهور وتسرع بعض الاحائيين في عصره ، فكتب يقول :

« إن نظرية التنامل قد أدخلت أفكاراً جديدة في التاريخ الطبيعي الوصفي وخصصت له هدفاً أكثر نبلاً . إنما يجب أن لا ننسى أنها مجرد نظرية ، تحتاج الى اثبات . وقد حاولت أن أبيّن ماهية البراهين المفيدة التي قدمتها البحوث الاحائية لها . إنما يجب أن لا أخفي أيضاً الثغرات الكبرى في تبيناتنا . ان العلم يهدف قبل كل شيء الى الحقيقة . كلما ازدادت قناعتنا بوهن قاعدة معارفنا النظرية ، كلما تزايد واجبنا من أجل تمتينها بوقائع وبمراقبة جديدة » (الفيلوجيني « التطور النوعي » والاونتوجيني « تطور الكائن » والمنهجية . ذكره ش . ديبيريه Ch. Depéret) .

في انكلترا : ت هوكسلي (Th. Huxley) ـ كان توماس هوكسلي أحد أشهر مذيعي أفكار

داروين . وقد ذكرت عدة مرات مناظرته مع رئيس أساقفة كنتربري ، وقد تغلب ، في أكثر الأحيان على زميله الأكبر منه سناً أوين Owen ، وهو خصم علني لنظرية التطور .

لم يكن هوكسلي إحاثياً حقاً . ولكن مفاهيمه حول علوم الحياة ، كان لها تأثير ضخم على تطور علم الإحاثة . فقد طبق قوانين التطور على تصنيف الفقريات ، وبيّن الفروقات الموجودة بين الأنماط الأولى الدائمة الباقية وبين الأنماط المتخصصة . وقد حاول ، انطلاقاً من الفقريات ، إقامة تركيبات إحاثية جغرافية (Paléogéographiques) .

ورغم أننا لا نقدم هنا تاريخ علم الإحاثة البشرية ، إلا أننا لا نستطيع إغفال كتابه الشهير « مكانة الانسان في الطبيعة » (1863) (ترجمة فرنسية : مكانة الانسان في الطبيعة ، 1868) . وفيه ، ولأول مرة ، تتوضح ، بحسب المنظور الداروني ، علاقات « الانسان » مع الموجودات الأولى الأخرى .

إسبانيا ، والبرتغال ، وإيطاليا ـ في مدريد رُكِّب ، لأول مرة سنة 1789 ، من قبل المشرِّح جان باتيست برو (J. B. Bru) ، [محضر التشريح في مدرسة الطب] التابع للغرفة الملكية ، أولَ هيكلٍ عظميٍ للميغاتيريوم megatherium ، كما رُكِّبَ بذات الوقت ، أول هيكل عظمي لثديي متحجر ؛ ولم يتطور علم إحاثة الفقريات الا ببطءٍ في إسبانيا بخلال القرن التاسع عشر . ولكن ، بخلال السنوات الأخيرة من القرن ، برزت بعض الأسماء الكبرى : ألميرا Almera ، وفيدال Vidal ، الذي يرجع عمله بصورة أوْلى الى الحقبة المعاصرة ، والذي بشر بالتجدد الحالي في الإحاثة الاسبانية . ودخلت البرتغال ، وان كانت أقل حظوة من حيث المكامن المتحجرة ، ضمن الحركة الكبرى التي طالت علم الإحاثة في الحقبة المعاصرة .

كانت إيطاليا غنية بالمكامن المتحجرة من أواخر العصر الثالثي ، كما ضمت المجاميع الأغنى من هذه الحيوانات الثديية من العمر الفيلافرنكي [بين العصرين الثالثي والرابعي] ، والذي شكّل بالتأكيد المحيط البيولوجي للناس الأولين . سوف نرى كيف توصل العلماء الايطاليون بدورهم ، في القرن العشرين ، الى تقديم مساهمة مهمة في تاريخ الثدييات .

في روسيا ف. و. كوفالفسكي (V. O. Kovalevski) ـ يقوم عمل ف. و. كوفالفسكي (1842 - 1883) على عدد صغير من الأعمال بسبب حياته القصيرة . ولكن عمله يمتاز بأصالة عميقة ويُشكل أحد الروافد الأهم ، بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، في علم الكائنات الزائلة .

ويقوم تأليفه على أربع مذكرات ، أهمها بحث حول التصنيف الطبيعي للمتحجرات (1873)

إنطلاقاً من البنيات من أجل التوصل الى الوظائف ، لا يعود المتحجر هيكلاً متحجراً ، بل يصبح كائناً حياً فاعلاً . وكل واجهة مفصلية لها معنىً ، وكل حبيبة سنية لها معناها . وفتحت طريق جديدة أمام علم الإحاثة . إنه علم الإحاثة «Paléontologie» بحق ، باستعمال الكلمة التي ابتكرها سنة 1862 آرشياك Archiac .

وبيَّن ف . و. كوفالفسكي Kovalevski إن عدم تكيف الأطراف ناتج عن ترتيب أو إحكام مشوه لعظام اليد ؛ وعدم تلاؤم الاسنان ناتج عن بقاء التـجات السفلى (Brachyodontie) . والأرجل المشوهة ميكانيكياً كانت عاجزة عن اكتساب هذه الاسطالة التي تعطي النمط الراكض ، في حين أن الاسنان المنخفضة لم تستطع التكيف مع التغيير الحاصل في النباتات بسبب حلول حقول الأوليغوسين والميوسين محل النباتات ذات التركيب الطري في حقبة الايوسين[الأوليغوسين : العصر الحديث اللاحق والميوسين : العصر الثلثي الأوسط والأيوسين : العصر الحديث السابق (المترجم)].

إحاثة الفقريات في أميركا الشمالية : في الأزمنة الأولى لازدهار الاحاثة التطورية ، سيطر اسمان في أميركا الشمالية هما : و . مارش O . Marsh (1831 - 1899) ، و أ . د . كوب E . D . Cope (1840 - 1897) .

حوالى منتصف القرن التاسع عشر ، مكن مدُّ السكك الحديدية الكبرى عبر القارة الاميركية من استكشاف الأراضي الواسعة في أقصى الغرب الاميركي ، والتي بقيت مستعصية تقريباً حتى ذلك الحين . عندها تم اكتشاف متحجرات ذات أهمية بالغة ، أثناء الحفريات الصعبة في مناطق غير صالحة للسكن . وقام بمثل هذا المشروع كلٌ من مارش وكوب ، بهمة وبنشاط وحماس كان يحملها في كثير من الأحيان على التخاصم . وكانت نتيجة هذه البحوث الدؤوبة ، اكتشاف عالم عجيب من المخلوقات ، تذكر أحياناً بالأنماط التي سبق وعرفت في أوروبا ، وتكشف في أغلب الأحيان عن أشكال جديدة تماماً : برمائيات (قوازب) دينوصورية (ستيغوسيفالية) وزحافات صوريات طاسية (Pelycosauriens) من العصور الأولى ؛ ودينوصوريات ضخمة من العصر الثاني ؛ وزحافات طيارة ؛ وطيور فريدة من أواخر الأزمنة الطباشيرية ؛ ثدييات ذات سمات غريبة من الجوراسيك ومن الطباشيري .ثدييات من بدايات العصر الثالثي تدل على المراحل الأولى للتفتح العجيب الحاصل لهذه الطبقة من الثدييات .

وقد كثرت في أغلب الأحيان الاشارة الى التعارض الفكري بين الاحاثيين الكبيرين الاميركيين : كتب مارسلين بول Marcellin Boule يقول : « إن فكر مارش ربما كان أقل استرسالاً للبديهة ، وأقل ميلاً الى التوليف والتركيب من فكر كوب ، ولكنه بدا أكثر تعقلاً ، وذا منهجية عملية أكثر التزاماً ومثابرة . كان مارش يعطي لأعماله شكلاً مدروساً أكثر ، ونهائياً أكثر . وكان ميالاً الى البحوث المتخصصة الفخمة . في حين كان كوب يبذل نشاطاً محموماً قليلاً في اتجاهات أكثر تعدداً . وقد باشر عدة موضوعات فعالجها في العديد من النشرات ، بشكل أقرب الى المؤقت إلا أنها كلها كانت تحمل طابع الأصالة » .

من عمل مارش ، نحتفظ أولاً ببحوثه حول الثدييات من العصر الثاني ، وقد نشرت في سلسلة من المذكرات ، صدر معظمها بين 1878 و1892 في « المجلة الاميركية للعلوم » تحت عنوان عام «ثدييات الميزوزويك». وهي مقالات أولية تصف سريعاً أهم أنماط مجموعة غنية ما تزال محفوظة حتى اليوم ، في معظمها ، في « بيبدي ميزيوم » في جامعة يال . وتحت العنوان : « أودونثورنيت بحث حول الطيور من ذوات الأسنان ، البائدة في أميركا الشمالية » (1880) ، كرس عملاً ضخماً لطيرين في أواخر الأزمنة الطبشورية ، عثر عليهما في كنساس . واعتقد أنه يقرر ، من خلال وجود أشكال هذه الأسنان

المتطورة جداً ، ذكرى الأصل الزَّحّافي للطيور . وقد تبين حديثاً ، من خلال أحد الشكلين : « اكتيورنيس » انه خلافاً لمزاعم مارش ، لم تكن الأسنان موجودة . وهناك مقالة أخرى ليست أقل أهمية ، خصصت لثدييات متخصصة الى أقصى حد ، هي « دينوسيراتا » (1884) ، فتحت طرقاً جديدة أمام علم المتحجرات . وكان هذا العمل هو المحاولةُ الأولى لاقامة علم « الباليـيرولوجيا » (أو علم الإحاثة العصبي) .

وقبل مارش جرت محاولات لدرس المخيخ عند الأشكال البائدة ، وذلك عبر درمس صورة القالب الجمجمي الداخلي الطبيعي أو الاصطناعي وقد سبق أن وجد في مؤلف كوفيه ، محاولة من هذا النوع : حيث قال : « في كتابه « بحوث حول العظام المتحجرة » : قدمت لي المصادفة السعيدة فكرة عن شكل دماغ الـ « آنوبلوتيرنيوم » . . . ؛ ان نصفيْ الدماغ لم يحتويا على تعاريج وتلافيف ، بل شوهد فقط انخفاض طولي قليل العمق في كل نصف . وكل قوانين المقارنة والمماثلة تسمح لنا بالقول ان حيواننا هذا كان محروماً من أي ذكاء » .

وبعد ذلك بكثير قدم ب. جرفي العديد من إعادات تكوين قوالب دماغ الثدييات البائدة والمنتمية الى عدة مجموعات (آكلة لحوم ، وكيسيات الخ) ولكن بحوثه قلما تجاوزت مرحلة الوصف . ومارش هو الذي يجب أن يعتبر المؤسس الحقيقي لعلم الإحاثة العصبي (باليترولوجيا) وهو علم يذكر تاريخ الدماغ عبر الأزمنة الجيولوجية . وقد ظن مارش أنه يستطيع ، أن يصوغ ، ضمن بعض المبادىء ، القوانين التي تحكم هذا التطور . وإذا كانت البحوث الحديثة دحضت أكثر استنتاجاته ، يبقى له فضل المركز الطليعي .

ويتعارض عمل كوب مع عمل مارش . إذ كان [كوب] مفكراً فيلسوفاً كبيراً ، وكان أول إحاثي بحث ، في علم المتحجرات ، ليس فقط عن إثباتٍ لنظرية التطور بل سار في السبل « النظرية من أجل محاولة تفسير التغييرات في الكائنات الحية » . ووجدت مبادىء فلسفته موزعة في عدة دراسات تحت عناوين : « إعادة نظر في نظرية التطور الحديثة ، (1880) » ؛ « في تطور الفقريات ، التقدمي والتقهقري » (1885) ؛ « العوامل الأولى في التطور العضوي » (1896) ؛ « أصل الأمثل أو الأكمل » (1897) ، الخ .

يمكن اعتبار كوب أحد زعماء ما سمي بالمدرسة اللاماركية الجديدة ، التي تعزو التغيرات في البنية الى تأثير الإرادة الواعية أو غير الواعية أي الى العادات . وقد حاول أن يستخرج قوانين التطور الإحاثي ، فوضعها في صيغٍ رنانة . ومع قبوله بأن الانتقاء يمكن أن يلعب دوراً حاذقاً إلا أنه لا يعطيه دور العامل المتطور : ان استمرارية الأجْذَرِ ليست هي أصل الأجْذَرِ .

إن مبدأ التوازي في تطور الكائن الفرد وتطور الجماعة أو العرق بدا له ، رغم الاستثناءات فيه ، ذا أهمية كبيرة . إن تاريخ الإحاثة بالنسبة الى نوع الإبليات، يدل مثلاً على وجود تطابق وثيق بين التحولات ، التي حدثت خلال الأزمنة الجيولوجية ، والتحولات التي تظهر أثناء النمو الجنيني . ومن خلال تتبع تسلسل الأنواع ، منذ الحقبة الثالثة في العصر الثالثي حتى عصرنا الحاضر ، نلاحظ اندماجاً تدريجياً في منتصف اليد ، مما يؤدي الى تكون عظم واحد هو العظم الوظيف «canon» ، ثم قصرٌ، في

الحجم وفي الطول ، في القواطع والأضراس الصغيرة . وإن نحن تتبعنا اليوم تاريخها الجنيني ، تبين لنا أنه في حالة الجنين، يوجد عدة عظام بدلاً من العظم الوظيف. كما هو الحال عند الإبليات في العصر الميوسيني (القسم الثالث من العصر الثالث) الأخير، وان القواطع هي بعدد قواطع الإبليات في الميوسيني الأعلى . وفي الوقت الحاضر للجمال الصغيرة جدا ضرس صغير إضافي ، كما هو الحال في هذه الفصيلة في أواخر الأزمنة الميوسينية . ويزول هذا السن ، أو لا يستمر إلا في عدد قليل جداً من الأفراد ، في حالة الرشد . في هذه الحالة يوجد إذاً (وفي حالات أخرى كثيرة غيرها) موازاة بين تطور الفرد وتطور النوع .

ولكن التطبيق الضيق لهذا القانون يؤدي إلى أخطاء خطيرة . ويجدر إذاً أن لا ننسى بأن « السمات المرحلية التي تظهر في النطفة ليست إلا تذكيراً جزئياً بأنماط بنية مرت بها الأجداد عبر الأعمار الجيولوجية » . فضلاً عن ذلك أن هذه السمات ليست في أغلب الأحيان الا تكيفات ذات علاقة بنوع الحياة . وكلها أسباب تدعو الى القول بأن تطور النوع لا يمكن ان يتقرر إلا بواسطة براهين إحائية .

إن الفروع التي تبلغ مرحلة كبيرة من التخصص ، مهيأة للزوال عندما تتغير البيئة أو المكان . من هذا اللاتكييف من أجل الحياة ، بالنسبة الى الأشكال المتخصصة جداً ، يكتشف كوب عدداً كبيراً من الأمثلة في مختلف طبقات الفقريات . وحده « عدم التخصص » بحسب تعبير كوفاليفسكي ، قابل للتكييف .

وقد ساهم كوب أيضاً في توضيح واقعة تبدو عامة نوعاً ما : إن كل مجموعات الثدييات تبدأ بأنماط ذات قامة صغيرة .

وإن بحثنا في استخلاص معنى التطور العام عند الفقريات ، نلاحظ وجود نوعين من التطور : أحدهما يتم من خلال الجمع ، والآخر من خلال طرح الأعضاء . وإذا اعتبر تطور الفقريات في خطوطه الكبرى فإنه يبدو تصاعدياً بشكل واضح . إن القلب منذ السيكلوستوم (الحلقيات) حتى الثدييات ، مزود بقواطع تزداد تعقيداً . أما الجهاز العصبي فهو أكثر تقدماً . وأما نظام الهيكل فيتكاثر صعداً من الفقريات الأكثر انحداراً حتى الثدييات . وتمفصل الفك مع الجمجمة يزداد فعالية من جراء تدني عدد العناصر الموجودة في القوس الفكي .

تلك هي بعض أفكار كوب حول أنماط التطوّر الإحائي . الى جانب هذه المفاهيم النظرية ، التي غيرتها المعارف المتقدمة ، يوجد في عمله فيض ضخم من المعطيات الجديدة . لقد تناولت بحوثه تقريباً كل مجموعات الفقريات ، وبصورة أخص الثدييات وقد بقي كوب أحد الأسماء الكبرى في تاريخ الإحائة .

إحائة الفقريات في أميركا الجنوبية ـ في الطريق الجديدة التي فتحها داروين يمكن أن نذكر ، بالنسبة الى أعمال الإحائة الجارية في أميركا الجنوبية ، داروين بالذات الذي اعتبر أن بعض انواع مغاور البرازيل أمكن أن تؤدي الى ولادة الأنواع الحالية . ولكن هذا العمل هو عمل خفيف نوعاً ما .

في حوالى سنة 1880 فتحت بالنسبة الى علم الإحائة في أميركا الجنوبية ، حقبة خصبة ، بفضل

عمل كارلوس وفلورنتينو أمغينو . قام كارلوس بعدة رحلات استكشافية في باتاغونيا ، ابتداءً من سنة 1887 ، فاكتشف عدداً من المتحجرات ، وقدم عن المناطق المستكشفة معلوماتٍ دقيقة أقر بموضوعيتها كل المراقبين اللاحقين . ودرس أخوه فلورنتينو المتحجرات المتوفرة ، فكشف بالتالي عن طبيعةٍ غريبة ، عن مجموعة من الأشكال ليس لها شبيه في القارات الأخرى . وكما قال آ. غودري ، الصديق الكبير لأمغينو ، أن التطور قد خطا خطوةً خاصة فوق القارة الاميركية كان إنجاز ف. امغينو ضخماً . وقد أمكنت تكملته ، وأمكن تعديله ، ولكنه بقي البناء الأساسي لدراسة الثدييات الثالثية في أميركا الجنوبية .

وبنفس اللحظة تقريباً ، قام إحاثي آخر ، روث ، من أصل سويسري ومتجنسٌ أرجنتينيٌ ، بجمع مجموعات مهمة ، بعض عيناتها تكمل تلك التي اكتشفها أمغينو .

* * *

إن الحقبة التي درسناها تمتد تقريباً من سنة 1860 حتى 1890 ، وهي موسومة بصورة أساسية بتأثير الفكر التطوري . ولكن علماء الإحاثة باستثناء كوب لم يساهموا أبداً في وضع النظريات التفسيرية . فقد بحثوا عن الوسائط التي تسد الثغرات بين الأنواع والعائلات . والتطورية عندهم هي تطورية الاستمرارية التي تذكر قليلاً بمفاهيم فلاسفة الطبيعة . إذ لم يتوصلوا بعد الى اكتشاف أهمية الزمن ومعناه .

مسائل الخلق الحيواني

I ـ مختلف اشكال التناسل

تتكاثر الحيوانات بالتناسل الجنسي وغير الجنسي ؛ وهذا الأسلوب الأخير ذو أهمية عند الحيوانات السفلى (بروتوزوير) وعند بعض مجموعات الميتازوير أي الكثيرة الخلايا . وهو ينعدم تماماً عند المفصليات وعند الرخويات وعند الفقريات . والجنسانية عند الكثيرة الخلايا ظلت غير معروفة تماماً لمدة طويلة ؛ وقام شودين وسيدليكي لأول مرة (1890) بإعادة تكوين دورة الكرويات من النوع المسمى «ايميريا» فأثبتا الجنسانية عند السبورتوزوير .

إن عملية جماع النقاعيات كانت موضوع أعمال بونشلي، وموباس (1888 -1889) وأعمال ر . هرتويغ . وكان الجماع حاجة دورية الى حدٍ ما ؛ أما التكاثر غير الجنسي هل كان ممكناً بدون حدود ؟ هذه المسائل سوف تحل في القرن العشرين .

إن انفصال الأجناس كثير الوقوع عند الميتازوير ، خاصة عند الحيوانات العليا مثل المفصليات والفقريات . أما الحيوانات الخنثى فقد لُحِظَ وجودها أحياناً في مجموعات كاملة (مثل الرخويات ذات الخياشيم الخلفية ، وذات الرئة ، وكذلك البلاتلمنث) .

الصفات الجنسية الثانوية ـ هناك صفات جنسية ثانوية تسمح بتحديد الجنس . فمنذ القرن التاسع عشر جرت محاولات لتوضيح حتمية هذه الصفات . وبينت التجارب كيف يقضي الخِصاء على هذه الصفات .

ومن أجل الحصول على ديك سمن يجرى الإخصاء على الديكة . في المزارع ، منذ قديم الزمان . ولاحظ برتهولد (1849) ان التلقيح العرضي أو الإرادي بأجزاء من الخصية على ديك مخصي ، يكفي لإعادة الاخصاب اليه . ان الاخصاء يؤدي الى حدوث تغيرات في ريش الأنثى التي تكتسي

بريش الذكر . وهذه الظاهرة كانت معروفة منذ زمن بعيد عند الطيور . ولاحظ جو فرواسان هيلير (1830) أنه في مداجن التدْرج ، ترتدي الاناث ريش الذكور في حين ينمو عندها الاصبع الخلفي (الصيصة أو الشوكة عند الديك) . ولاحظ آ. برندت سنة (1889) وقائع مماثلة عند الطيور البرية وخاصة ديك الأدغال . هذه التحولات الطبيعية ، التي أعطاها برندت اسم « ارهينوييد » (arrhénoîdie) تتحقق عندما يتوقف التعطيل « الكالوني » (inhibition Chalonique) تحت تأثير السن أو تحت تأثير الظروف المرضية .

إن الدراسة التجريبية للفرق بين السمات الجنسية الثانوية لدى الضفدعيات قد افتتحت سنة 1894 من قبل ستيناك واستكملت من قبل العديد من المؤلفين في القرن العشرين . زرع ستيناك خصيات في ذكر الضفدع المخصي. وفي الوقت المناسب ظهرت حبيبات غددية على إبهامات التوائم الأمامية . ودلت النتيجة على توقع عملية هرمونات من جراء هذا التفريق .

وفي الحشرات ، كانت التجارب الأكثر قدماً بحثاً عن توضيح محدودية أو حتمية السمات الجنسية من فعل أوديمانس (1889) على عذارى الفراشات .

الجنس الضائع بين الذكورة والأنوثة intersexualité ـ في أغلب الأحيان يتعين جنس الحيوان بالاخصاب أو التناسل . ولكن حالات التخصيب الذاتي أو الخنثوية ليست نادرة . فقد درست بعض الحالات في القرن التاسع عشر . فعند حشرة افعوية الذيل ، مثل لابونيلّي La Bonnelie يتحدد نوع الجنس بظروف النمو . والدراسة التشريحية لهذه الدودة قد تمت بصورة جيدة على يد هـ. دي لاكاز دوتيه (1858) الذي لم يتوصل ، مع ذلك، الى معرفة الذكور الأقزام التي تعيش في فرج الأنثى أو فوق سطح جسدها ، فاعتبرها حشرات طفيلية . وعرف آ. كوفالفسكي (1868) في هذه الطفيليات المزعومة ذكور البونيلّي ، ان نمو البونيلّي ، ودويدته ، ثم تطور هذه الدويدة وتحولها الى ذكر أو أنثى قد درسا من قبل سبنغل (1879) . ولكن نوع جنس البونيلّي سوف لن يتحدد بوضوح الا بخلال القرن العشرين .

ان الاخصاء الطفيلي قد تحقق بفضل آ. جيارد (1888) . فطفيلية السرطان وهي طفيلية الساكولين تمنع حصول المواد الجنسية، فتذبل المبيضات . فضلاً عن ذلك وعند الذكور تنحرف سمات الجنس الثانوية نحو الأنثوية . في سنة 1837 لاحظ راتكي أن البالامون المستطفلة بجراثيم البوبير كانت من الاناث . وفي الواقع كانت الذكور المستطفلة قد أصيبت بتغيير في صفاتها الجنسية الثانوية فتحولت الى اناث .

التخنث الأنثوي Gynandromorphisme ـ إن الفرد المخنث Gynandromorphe يبدو كتشكيلة من أجزاء بعضها يتميز بالذكورة وبعضها يتميز بالأنوثة . وأهم الأمثلة عن الخنثوية تلاحظ عند المفصليات والفقريات . وأقدم حالة هي عند الكركند أو الغرنيط (homard) كشفها نيكولس (1730) . ووصف سيبولد (1854) عدة حالات خنثوية في النحل عند مربي نحل من مدينة كونستانس . والمعدات التي عثر عليها في مجموعات معهد الزوولوجيا « Zoologie» في ميونيخ ، أفادت فيها بعد بوفيري Boveri لكي يقدم تفسيراً خلوياً (سيتولوجياً) لحالة الخنثوية الأنثوية .

وأشار هوك (1893) الى الورنك أو سمك اللـما Raie (Raja Clavata) وهي خنثى لها في جانبها الأيسر عظم جناحي (Pterygode) ذكري وخصية فوق المبيضين .

وعند الطيور ، ذكرت عدة حالات من الخنثوية . وصف ماكس ويبر Max Weber (1890) طائر الشرشود Pinson (Fringilla coelebs) الذي يكتسي ريش الذكورة على يمينه وريش الأنوثة على شماله . وله خصية على اليمين ومبيض على الشمال . وذكر كابانيس (1874) حالات أخرى مماثلة ، في حين لاحظ ت لورينز (1894) ديك ادغال خنثى . وهذه حالات نادرة الوقوع ومتفرقة . ولكن في القرن العشرين تم تحقيق الخنثوية الأنثوية بصورة منهجية .

التوالد العذري (La parthénogenèse) .ـ ان الحمل بواسطة بيضة غير مخصبة يسمى التوالد العذري من قبل ريشارد أوين (1849) ،وهو نوع من تشويه الحبل الجنسي . والحبل العذري الطبيعي أو الحمل بدون نكاح قد ثبت بوضوح في القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2) . وطيلة النصف الأول من القرن التاسع عشر ، أوِّل تأويلاً مختلفاً : فاعتبره البعض إخصاباً مستمراً (فرضية ترمبلي) أو خنثوية مزدوجة أو نوعاً من البرعمة الداخلية . وهذا المفهوم الأخير وهو الأصلب نجده عند فون سيبولد . وكان لا بد من انتظار أعمال كلوس (1864) حتى يتم فهم الحمل العذري ، وماهية البويضة المؤهلة للنمو بدون مساعدة الحيوان المنوي .

ان المحافظة على حالة الازدواجية في البويضة الخنثوية ، (وجود عددين 2N من الكروموسوم) يطرح مشكلة . فهذا الأمر يتم إما بإفراز كرية مركزية بدون انقسام ، إما بإصدار كرية ثانية مركزية تندمج مع البونوكلوس Ponucleus المؤنثة . وأول حل رصد عند الاناث الخنثوية ، بفضل ويسمان (1886) عند القشريات متفرّعات القرون ، وبفضل بلوخمان (1887) عند النمس أو قمل الدجاج ، ونفس الحدث قد لوحظ عند الحلقيات بفضل بيّيه Billet منذ 1883 .

ولدى بعض الحشرات لا تحدث الخنثوية إلا في حالة البذرة الدودية . وهذه الخنثوية المبكرة التي اكتشفها نيكولا واغنر سنة 1861 أطلق عليها اسم بيدوجينيز Pédogenèse (أو التخلف الطفلي) . والأمثلة الأكثر كلاسيكية هي حالات بعض مزدوجات الأجنحة وحشرات الجرب النباتي (Cécidomyie) التي درسها غانين (1865) ومشنيكوف (1865) .

إن الخنثوية الطبيعية ذات أهمية بالغة . فهل يمكن بالوسائل الاصطناعية العمل على تطوير بريضة ، لا يمكنها في الأحوال العادية أن تخصب بدون إلقاح ؟ إن أولى المحاولات في التلقيح الذاتي إصطناعياً تعود الى القرن الثامن عشر ، إنما كان لا بد من انتظار القرن التاسع عشر للعودة الى التجارب .

وزعم بورسيه (1847) وتيخومورروف (1885) ، الأول بأن الأنثى العذراء من نوع البومبيكس التي تعيش على شجرة التوت قد باضت بويضات مخصبة بعد أن بقيت في الشمس ، وقال الثاني أن معالجة البويضات العذراء لنفس الحشرة بواسطة الأسيد سولفوريك المركز يحدث بداية تطور . وبويضات عذراء من حيوان التوتيا إذا وضعت في مواد كيماوية متنوعة (كلوروفورم) ، وروح

الجيروفل (روح القرنفل) وزيت الدخان المعقم ، الخ .. تشكل غشاء شبيهاً بغشاء الاخصاب . (O. et R. Hertwig, 1887; R. Hertwig, 1896)

ولاحظ ت. هـ. مورغان (1896) بداية تقطع تظهر عندما عولجت البويضة العذراء من التوتيا بماء البحر المقوّى بإضافة الملح اليه ثم وضعها في ماء البحر العادي . وكذلك أظهرت بويضات الضفادع والأسماك ، المغطسة في محلول ضد الدفتيريا (كولاغين ، 1858) أو في محلول خفيف جداً من مادة متسامية [التسامي أو التصعيد هو التبخر بدون المرور بحالة السيولة] (المترجم) (دويتز 1899) بداية تقطيع أو تشقق .

وأخيراً ، في سنة 1899 ، نجح البيولوجي (العالِم الاحيائي) الاميركي في توليد دويدات بتغطيس بيضات التوتيا العذراء ، لمدة ساعة ونصف ، في ماء البحر المقوّى بماء كلورير المغنيزيوم . وأحدث اكتشافُ لوب Loeb ضجةً وأثار منازعات حادة ؛ إن حقيقة « المواطنين الكيميائيين » لم يقبلها الجميع .

« إذا كانت حقاً ، البيضات الموضوعة قيد التجربة هي من أنثى غير « مخصبة ذاتياً » فإن « الإحياء » (Plutei) التي حصل عليها لوب (Loeb) ، كي نستعمل اللغة العامية ، قد نزلت من « السيدة توتيا » ومن السيدكلورور المنغنيز » (ش. فيغيه C. Viguier ، 1901) .

وسوف يشاهد القرن العشرين تطوراً كبيراً في مجال التخصيب الذاتي التجريبي ، ليس فقط لدى اللافقريات البحرية ، بل لدى البرمائيات والثدييات .

فالبيضة يمكن أن تنمو أحياناً بفعل النطفة المنوية فقط ، انها عملية «الاندروجنيز» androgenèse [andro = ذكر وgenèse = خلق (المترجم)] أو التخصيب الذاتي الذكري . وكانت أولى محاولات التخصيب الذكري الذاتي الهجينية المولدة ، قد جرت على يد ت. بوفيري T. Boveri (1889) الذي جرب تخصيب أجزاء من بيوض السفيرينوس Sphaerechinus بمنيِّ الاشينوس Echinus (قنفذ البحر) . إن هـذين الصنفين من ذوات الجلد الشوكي يختلفان من حيث شكل بذرتيهما . وكانت النتائج الحاصلة مشكوكاً بها ؛ وسوف تجري تجارب مماثلة بنجاح في القرن العشرين .

تناوب الخلق التلقيحي واللاتلقيحي .ـ اكتشف أدلبرت فون شاميسو Adalbert Von Chamisso (1819) ان « ذات الجيبين » (Salpes) من المغلّفات (Tuniciers) هي ذات اخصاب تناوبي : الشكل الفردي المنعزل أو تبرعم البويضات (أوزويت Oozoïte) بشكل خلايا فطرية « بلاستوزويت » (Blastozoïtes) [تكاثر الفطريات الذي يتم عن طريق التبرعم (المترجم)] تجتمع بشكل سلاسل عائمة ملقحة جنسياً أو حية كاملة التكوين .

ووصف الدانمركي ج. ستينستروب J. Steenstrup في كتابه «تناوب عمليات الخلق » (altern-ance of Generations) (1842 -1845) التناسل التناوبي عند مجوفات البطن Cœlentérés ، والمثقبات Trématodes والمغلّفات Tuniciers . ولوحظ نفس التناوب عند المنخربات (Munier - Chalmas) .

الإنسال اللاتلقيحي . ـ بإمكان العديد من اللافقريات أن تتكاثر عن طريق اللاتلقيح الجنسي ، انطلاقاً من أجزاء من أفرادها أو من بقايا تكوينية متمايزة الى حد ما . وعند البعض ، ذات الأنسال التناوبي ، يظهر الأنسال الجنسي بشكل متقطع . وفي الأشكال المستعمراتية ، تولد بيضة واحدة جملة أفراد ، إما متشابهة فيما بينها ، وإما متفرقة مختلفة عن بعضها البعض (المجوفات ، الدودة المسطحة ، أو الحلقيات أو الجيبيات . .) . ومنذ القرن الثامن عشر ، بيّن ترامبلي Trembley هذه الظاهرة لدى هدرة [حية الماء] المياه الحلوة . وتكاثرت الأمثلة بخلال القرن التاسع عشر .

وترتبط بهذه التفاعلية عمليات الخلق ، أو إعادة تكوين الجسم عَرَضاً بأكمله بعد بتر منطقة ذات أهمية منه وكانت هذه الظاهرات موضوع بحوث متعددة .

تخلق النطف الكثيرة من بويضة واحدة (Poly embryonie) ـ لبعض اللافقريات عادة تفاعلية انسالية خادعة تسمى تعدد التخلق النطفي (Polyembryonie) ، وفيها ، تنقسم كل بويضة ، أثناء النمو ، الى نطفتين أو أكثر . إن هذه التفاعلية المراقبة لدى دودة من دود الأرض من قبل كلينبرغ Kleinenberg (1879) ، قد اكتشفها ب. مارشال P.Marchal (1897) لدى ذوات الأجنحة الغشائية الحلقانية المسماة غشائيات الأجنحة الصفريات أو « Encyrtus Fuscicollis» والتي تبيض بيضة ذات القاح ذاتي ضمن بويضات الفراشة المسماة «Hyponomeuta malinella» ، ان وقائع من ذات النسق قد ذكرت لدى الثدييات .

وهكذا ، بالنسبة الى المجالات البيولوجية الأخرى ، كانت تقديمات القرن التاسع عشر ، من أجل معرفة ظاهرات الإنسال ، ضخمة .

II ـ تطور علم النُطف Embryologie

بخلال القرن التاسع عشر ، خطا علم النطف خطوات مشهودة ، مرتبطة بتقدم المجالات الأخرى ، وبخاصة السيتولوجيا Cytologie أو علم الخلايا . كان علم النُطف في باديء الأمر وضعياً فقدم توضيحات حول طبيعة الأمشاج gamètes ، وحول بنية البيضة المخصبة وحول مختلف مراحل نموها ؛ وحلل تتابع الظاهرات التي تؤدي ، انطلاقاً ، من الخلية الأولية ، الى توليد فرد متلائم مع نمط النوع . ثم ، وبسرعة ، استكمل علم النطف (الامبريولوجيا) الوصفي بعلم النطف المقارن ، وأثبتت أعمال متنوعة مهمة وجود تماثل في النمو النطفي لدى كل الفقريات ، ووجود تشابه في هذا الشأن بين الفقريات واللافقريات .

ولكن من أجل معرفة الأوليات (ميكانيسم) كان لا بد من اللجوء الى الطريقة التجريبية التي لم تطبق أبداً بعد سبالانزاني Spallanzani ؛ وهكذا أنشأ علم النطف السببي (الافتعالي) أو التجريبي ، الذي بدأت نهضته في أواخر القرن .

1 ـ علم النطف الوصفي وعلم النطف المقارن

كل فرد يأتي عن نمو تطور خلية ـ بيضة . وتمتلك هذه الخلية تكويناً خاصاً . وهي تنتج عن اندماج عنصرين خلويين هما المشيجان ؛ أحدهما أبوي المنشأ هو المنوي ، ويتكون في خصية الذكر ، والآخر أمومي المنشأ هو البُويضة وينمو في مبيض الأنثى . ومعرفة الشروط الخاصة لولادة الأمشاج ، ودراسة اندماج ثم تكون البيضة الناتجة عن الأمشاج ، كانتا من المكاسب الرئيسية التي حققتها البيولوجيا [علم الأحياء] في القرن التاسع عشر

الأمشاج ـ ان كل مشيج هو نهاية خطٍ من الخلايا الجرثومية المتتالية داخل كل من المبيض والخصية ، وهذان المشيجان هما التوليد المنوي والتوليد المبيضي . وكل من هذين الخطين الخلويين ينتهي بانقسام مزدوج من نوع خاص ، هذا الانقسام يخفض عدد الصبغيات الى النصف من 2N الى N (وهذه البنية الخاصة في نوى [جمع نواة] الأمشاج تسمى هابلوييد Haploïde) وهذا ما يسمى « بالتقليل » (méiose) [من كلمة أقل (المترجم)]. في البيضة ، نتيجة اندماج مشيجين ونواتيهما ، تنضاف صِبغيات هاتين : (N+N=2N) مما يشكل بنية نُوى الأنسجة الأبوية والأمومية عبر الأجيال المتتالية . وهكذا بعد الأخصاب ، يُعاد تكوين البنية الصبغية المزدوجة بواسطة 2 N صبغية .

وتبدأ الفترة الكبرى من علم الأجنة مع كارل ارنست فون بير (Karl Ernest Von Baer) (1792-1876) الذي تعود أولى أعماله حول الأجنة الى سنة 1819 . فقد اكتشف لدى كلبة بويضة الثدييات (De ovi mammalium et hominis genesi) (1827) . إن مبيض الثدييات يفرز بصورة دورية حبيبات كرؤية تنفجر ثم تنكمش . وفي سنة 1672 ، ظن ر. دي غرآف R. de Graaf أن هذه الحبيبات هي البويضة بالذات . هذه المكوِّنات التي سميت « جرابات دي غراف » كانت قد روقبت من قبل هالر Haller لدى النعجة (1753) ومن قبل كريكشنك Cruikshank لدى الأرنب (1797) ، ومن قبل بريفوست Prévost ودوماس Dumas عند الكلب والأرنب (1824) . هذه الجرابات هي في الحقيقة زوائد خارجية دورية في المبيض ، فيها تكمن في الحقة (البويضة = ovule) ، التي تتحرر بتمزق الجراب ، كما عرف ذلك بير Baer . وتنطلق البويضة المحررة لتمر في المسالك الرحمية من الأنثى (قنوات المبيض) حيث تتخصب بالمني ؛ وبعدها تتعلق النطفة في الغشاء الداخلي من الرحم حيث تنمو .

إن دور وطبيعة المنويات قد تم تحليلها . وعاد بريفوست ودوماس (1824) الى أعمال سبالانزاني فحققا تخصيب بويضة الضفدعة . ولاحظا أن السائل الذكري المصفى يفقد قدرته التخصيبية ، في حين تحتفظ حثالة التصفية بهذه القدرة . وتوضحت الطبيعة الحقة للمنويات ؛ إنها ليست لا نقاعيات ولا هي بالطفيليات . وبيّن بلتيه Peltier ودوجاردان Dujardin (1827) انها مادة عضوية منبثقة عن الأنابيب المنوية في الخُصى . وقدَّم ر. واغنر R. Wagner (1827) وصفاً جيداً لمنويات مختلف الخلويات . وأخيراً ، أقرت الدراسات المتخصصة التي أجراها كوليكر (Kolliker) (1841) وواغنر

ولوكارت (Wagner et Lekart) (1849) ، الأصل الخصيوي للمني والدور الأساسي للمنويات . ان النظرية الخلوية قد صيغت ، وعرفت الامشاج بصورة صحيحة باعتبارها خلايا .

وشَكَّـلَ تحليـلُ وفهمُ التخصيب حقبة جـديدة ؛ ورصـد و. هرتـويـغ (O. Hertwig) (1875) وسيلينكا (1879) دخول المني في البيويضة عند التوتيـا ، ورصـد هـ. فـول H. Fol (1876) ذلك عنـد نجمة البحر . ان نقص الصبغيـات في الأمشاج ، نتيجـة عدم التخصيـب ، وانـدماج الأمشـاج عند التخصيب قد رصدها وراقبها فلمنغ Flemming (1882) .

البيضة ونموها ـ إن البيضة المخصبـة هي منطلق عمليـة تطور الكـائن الفرد (Ontogénèse) . فبعد التخصيـب يأتي الانفلاق أو « التشقق » . فتنقسم البيضة الى قسمين فأربعة فثمانية فستة عشر ، فإثني وثلاثين، فأربعة وستين . . . من الخلايا الوليدات أو بلاستومير (Blastomères) . التي لا تُصاب بـالتبديـلات الفضائية . ويـولِّـد الانفلاق كتلة الخـلايا النـاشئـة « المـورولا » (morula) . وتتابع الانقسـامات الخلوية فتتكون البلاستولا Blastula وتحتوي العلقة « البلاستولا » تقعراً قابلاً للانفلاق هو « بلاستوسيل » . وعندها تبدأ عملية « التخلق » (Gastrulation) التي تتضمن تغييرات مكانية وخاصة النزوح ، عمقاً ، لمجموعات من الخلايا كانت حتى ذلك الحين على السطح . وبعدها تولد المُضغة (gastrula) وهي قطعة ذات وريقتين ، الأكتودرم والاندودرم ، تحيطان بالبلاستوسيل . وتظهر حركات أخرى؛ وترتسم الوريقة الثالثة « الميزودرم » ؛ وتتحقق بدايات الأشكال الجنينيـة « التخلق » . وكل بداية سوف تأخذ حدَّها . وتأتي بعد البنية التعميمية في « البلاستولا » نواة أو بذرة تشتمل على فـيفساء من الأقسام المستقلة .

وانفلاق البيضة قد تم درسه لدى مختلف مجموعات الحيوانات : الضفدع (بريفوست ودومـا ، 1824) ؛ سمندل الماء (روسكوني Rusconi ,1836) ؛ الدود المسطح أو العريض (سيبولد Siebold ، 1837) ؛ العـدادات [حيوانـات مائيـة من المجـوفـات] (لـوفن Lovén ، 1837) ؛ نجمـة البحـر والرخويات «Nudibranches» (سارس Sars ، 1837) ؛ الثدييات (بيشـوف Bischoff ، 1838) ؛ السمـك Poisson (فوغت Vogt ، 1842) ؛ الـطير (برغمـان Bergmann 1847) . وأكَّـد كوست (Coste) (1850) على عمومية ظاهرة انقسـام (انفلاق) البيضـة .

ويبرز مفهـوم الـوريقـات المنتجـة وقـد استشعـره وولفWolf من أعمـال هـ. ك . بـانـدر H.C.Pander عنـد الأخطبـوط ، وخاصة من أعمال فـون بايـر Von Baer . وابتكر بـاندر Pander (1817 -1818) كلمــة « بـلاستــودرم » (Blastoderme) [خليـات تتكــون من انقســام البــويضــة (المترجم)] . وأكَّـد م . هــ . راتكي (1829) نظرية الوريقات المولـدة على بيضـة السرطان . وأطلق ريماك Remak (1845) على الوريقات الثلاث تـسمياتها الحديثة « اكتو ـ درم ، ميزو ـ درم واندو ـ درم » [ecto : خارجي ؛ méso : متوسط ، أوسط وendo: داخلي اما derme : جلـد (المترجم)] . وبيّـن ت. هــ . هُكسـليHuxley .T.H (1849) ، ان المجوفات ليس لها إلا وريقتان نطفيتان هما الداخلية والخارجية؛ وإذا فهي تبقى في مستوى الغاسترولا gastrula) . وقدم هايكل Haeckel نظريته الجريئة

حول الغاسترَ gastraea، والغاسترولا هي سلف كل الخلويات المفترض. واقترح أ. ر. لانكستر E.R. Lankester (1873) كلمات هولوبلاستيك Holoblastique أي « كاملة الانشقاق» diplo blastique مزدوج الانشقاق و«ثلاثي الانشقاق »Triplo blastique، وهي ما تزال مستعملة حتى اليوم، ويزعم هيس W. His (1874) انه في مرحلة ما من التطور ، تتطور البدايات الجنينية بشكل مستقل ؛ لقد تمَّ وضع وترسيخ مبدأ الفسيفساء .

ومن سنة 1828 الى 1837 ، نشر فون باير Von Baer مؤلفاً مهماً جداً . بمجلدات: «über Entwicklungsgeschichte der Thiere» ، وهو أول مطول يتعلق بنمو الفراخ ، وبيَّن بشكل خاص تشابه المراحل الأولى لدى أجنة الفقريات ، بعد الأخذ في الاعتبار أعمال راتكي السابقة (1825) الذي اكتشف الشقوق الخيشومية والأقواس الخيشومية لدى أجنة الطيور والثدييات التي تشبه في هذه المرحلة أجنة الأسماك . ولخص فون باير الوقائع في سلسلة من القوانين التي تقرر أنه :

أ ـ بخلال تطور الأجنة تظهر الخصائص العامة قبل الخصائص الخاصة ؛ فالكلب أثناء تخلقه هو فقري قبل أن يكون ثدياً ، وهو ثديي قبل أن يكون آكل لحوم .

ب ـ ان البنيات الأقل عمومية تشتق من البنيات الأعم التي هي أسبق ، وهكذا دواليك .

جـ ـ ان جنين حيوان ما يبقى دائماً مختلفاً عن أجنة الأشكال الأخرى .

د ـ ان جنين حيوان عالٍ في سلم الكائنات لا يشبه أبداً الراشد في نوع أدنى ، بل يشبه فقط جنينه إن الشقوق الخيشومية في جنين الأمنيوسات (Amniote)لا تشبه أبداً الشقوق الخيشومية في سمكة راشدة، بل تشبه شقوق جنين السمك.

ووصف ي. فان بينيدن E. Van Beneden (1885) لدى الخيطية المسماة (اسكاريس ميغالوسيفالا) ظاهرات نضج البيضة ، وحول نفس الحشرة حلَّلَ و. هرتويغ O. Hertwig مراحل تخلق المشيج .

وقام علماء أجنة عظماء بدراسة التخلق الفردي لدى مختلف المجموعات منهم آ. كوفالفسكي A. Kovalevski وأ. مشنيكوف E. Metchnikov وأ. ر. لانكستر E.R. Lankester وف. م. بالفور F.M. Balfour وأ. كورشلت E. Korschelt وك. هيدر K. Heider . وكتب الثلاثة الأخيرون الموسعات الكلاسيكية حول علم الأجنة .

القانون التخلقي الأحيائي الأساسي الذي وضعه هايكل (Haeckel) ـ قدم فريتز مولر F. Müller (1864) الفكرة بأن المراحل المتتالية لنمو جسمٍ ما ، هي تذكير بالحالات المتتالية التي تصل اليها المجموعة بخلال التطور والنمو . وهناك ملاحظة مشابهة قدمها الألماني ج. ميكل J. Meckel (1815) والفرنسي آ. سير A. Serres (1842) . واستلهم هايكل (Haeckel) (1866) ملاحظات هؤلاء السابقين وبصورة خاصة القوانين المصاغة من قبل فون باير Von Baer ، فعبَّر عن نفس الظاهرات بجملة مقتضبة لاقت نجاحاً كبيراً : « إن التخلق الفردي هو استجماع مختصر لتخلق النوع » . ويقول آخر ان التطور الفردي يختصر تطور النوع . واطلق هايكل على هذه القاعدة : « القانون البيولوجي

التخلقي الأساسي » . وأثار هذا القانون الحماس الحاد . فهو يقدم تفسيراً للأعضاء الانتقالية في الأجنة : مثلاً، إن أجنة الحيتان (لثلاثة أشهر فما فوق) تملك بدايات اسنانية لا تخترق اللثة ، ثم تختفي دون لعب دور . إن هذه البدايات تذكر بحالة التسنين Cétodonte التي كان عليها سلف الحوت الذي استبدلت أسنانه بشاربين قرنيين .

إن صيغة هايكل Haeckel ليست صحيحة في شكلها . ويطبق القانون على الأعضاء لا على الجسم في مجمله . إن الجنين البشري له شقوق خيشومية ، وحبل ظهري ، وقلب . . . تذكر بأعضاء مماثلة في جنين السمك .

ولكن الجنين البشري ، لم يكن بأي وقت من الأوقات ، يملك هيكلية سمكة راشدة بالغة . كل عضو يملك تخلقاً ذاتياً خاصاً . وان كان صحيحاً أن جدود الثدييات لا تملك شقوقاً خيشومية ولا حبلاً ظهرياً ، ولا قلباً . . .

وقد شعر هايكل تماماً بالفروقات بين التخلق الفردي والتخلق النوعي ؛ وقد ميز بين السمات التناسخية وهي سمات موروثة والسمات التخلقية المختلطة، وهي سمات ثانوية تنضاف إلى الأولى . ان الشقوق الخيشومية ، والعامود الفقري هي سمات تناسخية ، في حين أن المشيمة (السخد) هي سمة تخلقية مختلطة . ويتعقّد التطور بإضافة السمات الجديدة الى السمات السلفية .

ولم يقبل فون باير (Von Baer) أبداً بقانون هايكل Haeckel ؛ فهو يعتبره كتأويل تطوري للقوانين التي سبق له أن صاغها منذ سنة 1828 . ومن الغريب أن نذكر اليوم أن قوانين فون باير Von Baer ـ وقد أعادها علماء الأجنة الانكليز الى الواجهة ـ قد فضلت ، لأنها أصح وأدق ، على قانون هايكل .

2 ـ علم الأجنة التسببي أو التجريبي

إن علم الأجنة كان وصفياً في بداياته ثم أصبح تجريبياً في آخر القرن . وهناك اسمان يبرزان هذا الاتجاه الجديد ، وهما الفرنسي لوران شابري Laurent Chabry (1855-1894) والألماني ويلهلم رو (Wilhelm Roux) (1850 -1924) .

درس ل. شابري نمو القِرابيات (1887) . ولاحظ جملةً من الشذوذات وبخاصة تشكل انصاف الأجنة . وفهم أن أنصاف الأجنة هذه تتشكل عندما تتوقف إحدى الخليتين الأوليين (البلاستومير) (Blastomères) المنبثقتين من البيضة ، عن النمو . ولكي يراقب تفسير ذلك ، حاول أن يفتعل الشذوذ وذلك بأن أقدم على إتلاف واحدة من « البلاستوميرين » بمجس زجاجي ؛ ونجحت التجربة وحصل على نصف جنين ، وأدى تدمير إحدى « البلاستوميرين » الى نمو مُشروعاتٍ ناقصة وكان ل. شابري Chabry أول من « شرَّح البيضة » ، ولكن حياته القصيرة ومزاجه غير المستقر حرماه من الإفادة من تقنيته .

وبذات الوقت تقريباً أسس و. رو (W. Roux) علم الأجنة التجريبي أو ميكانيك النمو بسلسلة من التجارب المتقنة على بيضة الضفدع . وحاول أن يشرح ، في كتابه :

«Über die Kunstliche Hervorbringung Halber Embryonen durch Zerstörung einer der beiden ersten Furchungszellen» (1888)

أثر التكوين الداخلي للبيضة على النمو المبكر للجنين ، والمؤثرات الخارجية التي تتناول البيضة . وعند حرق إحدى « البلاستوميرات » ، بالمرحلة الثانية ، حصل على نصف جنين نموذجي ؛ في هذه المرتبة ، كان تمايز الجنين قد تحدد . واكتشف و. هرتويغ مَعَداتٍ أفضل في بيضة التوتيا ، الفقيرة في المح . وتستطيع البلاستوميرات في المراتب 2و4 و8 و16 و32 ، المفروزة بعضها عن بعض بواسطة المخض ، أن تعطي يساريع كاملة .

في سنة 1891 ، قدم هـ. دريش H. Driesch ، باعث الحيوية الحديثة ، التبيين التجريبي لظاهرة « الانتظام أي ضبط حرارة بيضة التوتيا . في بيضات بعض المجموعات ، تستطيع البلاستوميرات الأولى المعزولة أن تنمو بشكل أجنة كاملة ، إنما بحجم أصغر ؛ ولكن ، في بيضات مجموعات أخرى ، لا تعطي البلاستوميرات المعزولة الا جزءاً من جنين . وفي بيضات التوتيا ، يبرز الانتظام ، وكل بلاستومير تحتوي على كل ما هو ضروري ، في حالة الكمون ، من أجل نمو الجنين نمواً كاملاً . وفي بيضات الرخويات يتحدد التطور اللاحق سريعاً بفصل موقع البلاستومير ؛ دونما انتظام .

وبعد اكتشاف دريش (Driesch) ، قام ويلسون (1893) برصد وتحقيق الانتظام انطلاقاً من البلاستوميرين الأولين، لدى مدبّب الطرفين (Amphioxus)[حيوان بحري صغير يعيش غالباً مختبئاً في الرمال (المترجم)]، ثم من قبل اندرز(Enders) (1895)، وهرليزكا (Herlitzka) (1896 - 1897) لدى سمندل الماء (Triton) ومن قبل و. شولتز (O. Schultze) (1894) ومن قبل ت. هـ. مورغان (T.H. Morgan) (1895) لدى الضفدعة .

إن التركيب الكيميائي للوسط الذي تنمو فيه البيضة ، له أثره . واكتشف هربست Herbst (1892) أنه بإضافة كلورور الليتيوم إلى ماء البحر، يختل نظام تكوين الجنين في التوتيا . إن ملح الليتيوم يحدث أثراً نباتياً .

ونمو العديد من البيضات غير المكتملة الصبغيات ، بعد تحفيز ميكانيكي أو كيميائي يدل على أن الإخصاب والتنشيط هما عمليتان مختلفتان .

وتطور علم الأجنة التجريبي الذي أسس في القرن التاسع عشر تطوراً ضخماً في القرن العشرين . فهو يمثل مجالاً علمياً مهماً جداً في البيولوجيا الحديثة . وكان حفز و. رو Roux مهماً ورئيسياً ، ليس فقط في ألمانيا ، بل في كل المختبرات؛ وأسس مجلة دورية باسم :
«Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der organismen» خصصت لنشر المعطيات المتعلقة بميكانيك النمو ، وهي ما تزال تصدر حتى اليوم .

3 ـ علم البحث في تشويه الأجنة (Tératologie)

إن نشأة الممسوخين المشوهين لم تتوضح في القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2 ، القسم III ، الكتاب III ، الفصل I)ولكن النقاش الذي بدأ استمر في القرن التالي .

وعاد ميكل Meckel (1812 -1816) الى نظرية المَسْخ بالقوة (الكامن) التي قال بها وولف (Wolff) . وكان اتيان جوفرواسان هيلير (E.G. Saint-Hilaire) من انصار تدخل الأسباب العارضة فحارب نظرية المسخ بعنف ؛ فصمم على إثبات نظريته الخاصة ، عن طريق التجربة ، فجرب الحصول على مسوخ انطلاقاً من بيوض الدجاج باخضاعها لظروف غير عادية . وأعطت التجارب المحققة بين سنة 1820 و1826 ، في أوتاي Auteuil ، أفراخاً ممسوخين . وبدت هذه النتيجة نقضاً لنظرية المسخ الأصيل . ونشر ايزيدور جوفروا سان هيلير، ابن اتيان ، وهو أحد مؤسسي علم المَسْخ العلمي ، كتاباً ضخماً بعنوان « التاريخ العام والخاص للشذوذات الجسمانية عند الإنسان والحيوان ؛ أو الوسيط في علم المَسْخ » (3 مجلدات ، 1832 ـ 1836) . وكتب يقول (1847) :

« وهكذا نصل من كل السبل الى نفس النتيجة العامة وهي : النشأة العرضية ، غير الأولية ، للشذوذات التشويهية . إن فرضية النطف ذات الاستعداد المسبق ، للتشويه ، قد دحضت نهائياً ، وإذا كان لها أن تبقى في العلم فباعتبارها من التاريخ . . . » .

في سنة 1877 أكّد دارست Dareste وتابع عمل اتيان جوفروا سان هيلير. وبصورة متزايدة فرضت فرضيةُ مسؤولية العوامل الخارجية المؤثرة في خَلْق المشوهين نفسها . قال دارست Dareste : « أن ليمري Lémery على حق ؛ لقد عرف الحقيقة ولكنه لم يُعَرِّف بها ، لفرط ما كان أسيراً لعقيدة الوجود المسبق للنطف . وبإمكاننا أن نقول اليوم أن حالات المسخ تنتج دائماً عن تأثير الأسباب العارضة ، وهي أسباب لا تغير أبداً في الجهاز المكتمل ، بل تغيره أثناء اكتماله أو تكونه ، وذلك بإعطاء عمليات التطور اتجاهاً آخر مختلفاً » .

وجاءت نتائج افتعال التشويه الخلقي التجريبي لتؤكد دور العوامل الخارجية في ولادة المسوخ . ولم يعد للمسخية الأصلية الكثير من المدافعين . وفي سنة 1887 كتب ل. شابري (Chabry) يقول :

« لن أركز أكثر على هذه الوقائع (وقائع كان يراها لصالح المسخية الأصلية) ، بعد أن عثر العلماء في علم التشويه ، على الوسيلة التي تمكنهم من إيجاد كائنات ممسوخة ، من بيوض ، مهما كانت ، وبالتالي من بيوض طبيعية (وهذا ما قمت به بنفسي بالنسبة الى القماعيات أو ذوات القِرب (Ascidies)) ، ولو كان هناك بعض أشخاص ، يَبْدون في نظري ، وكأنهم يحملون للفكرة القديمة ، فكرة تشويه النطف ، كرهاً لا مبرر له . . . في بادىء الأمر ، أن التشويه المسخي ، هو ، في حالات كثيرة ، وراثي ، حتى ولو ظهر بشكل متقطع ، وتدل المراقبة بأن الآباء الأسوياء ظاهرياً هم في الواقع ممسوخون بالقوة، مهيَّأون لتوليد العديد من المسوخ المشابهين لهم . . . ولا علم لي بوجود تجارب أجريت فقط من أجل غايةٍ هي استحداث مسوخ عن طريق « العمل » على الأهل ، إذ هذا هو السبيل الواجب الاتباع من أجل تقليد الطبيعة » .

ولكن تقدم البيولوجيا سوف يثبت أن مختلف العوامل الخارجية كانت غير مهيأة لاستحداث وافتعال كل أشكال المَسْخ . والواقع ، أن علم الوراثة سوف يثبت أن الكثير من حالات المَسخ يزداد على أثر انتقال جينة صبغية . تلك هي حالة العديد من الحالات الشاذة التي اعترت الهيكل العظمي ، وبالضبط حالات فقد الأصابع (Ectrodactylie) وتعدّد الأصابع (Polydactylie)، التي

ذكرت في القرن الثامن عشر في المناظرة التي جرت بين وينسلو Winslow وليميري Lémery . ان ما قدمه علم الوراثة قد أثار في بداية القرن تحولاً في الأفكار ، يهم نشأة المسوخ . نحن نعلم الآن بوجود مسوخات ولادية أو طبيعية النشأة ومسوخات مكتسبة أو غير نشأوية . الأولى تكون وراثية والثانية ليست وراثية .

من كان على حق في المناقشة حول المسوخ ، ليميري أم وينسلو ؟ هناك بعض من الحقيقة في كلٍ من الطرحين المتعارضين . ولكن مفهوم وينسلو بحكم قبوله ، بآن واحد ، بالتشويه الأصلي وبتدخل العوامل الخارجية ربما يقترب أكثر من الأفكار الحديثة .

علم المسْخ والوراثة ـ اهتم ايزيدور جوفروا سان هيلير كثيراً في معرفة مدى وراثية أو عدم وراثية حالات الشذوذ المتنوعة . وبكثير من روح النقد ، راجع الملاحظات القديمة ؛ وأضاف اليها ملحوظات ذكية وأحياناً نتائج تجاربه الشخصية التي أجراها على الثدييات .

وقد رأى أن الشذوذات الفردية ، قد تكون في أصل أو نشأة عرق ، أو تشكيلة جديدة وحتى في نوع جديد :

« إن علم المسخ لا يوضح فقط أصل الأشكال المحلية وأصل السلالات الداجنة ، والتي هي ، في المآل الأخير ، تفريعات حقة من النمط الخاص الذاتي ، نُقلت ، بشكل أكثر انتظاماً من غيرها ، عن طريق التوليد فأصبحت بالتالي مشتركة وشائعة في عدد أكبر من الأفراد ، ان التفسير بذاته للفروقات العادية حقاً بين الكائنات ، وكذلك بوجه خاص فروقاتها الذاتية لا يبقى ، بالكامل ، خارج المعلومات الخصبة التي قدمتها دراسة الشذوذات أو الخروج على المعتاد » .

وتصور ولادة النوع من خلال تغيرات مفاجئة فردية وعارضة ، أي تبدلات . واذاً بدا ايزودور جوفروا سان هيلير كواحد من الطليعيين في مجال علم الوراثة الحديث وكأحد السابقين القائلين بالتبدلية .

الفصل الرابع

الجنسانية والتناسل عند النباتات

ج. ب. آميسي واخصاب النباتات ذات الزهر . ـ كان لا بدَّ من مرور ما لا يقل عن قرن من البحوث ، منذ تجارب كاميراريوس الشهيرة (1694) ، لكي تمتد فكرة الجنسانية لتشمل المملكة النباتية رغم أن الأمر لم يتعلق إلا بجزء أصغر من أجزاء هذه المملكة ، هو النباتات ذات الزهر ـ ثم لتبيين الحاجة الى التخصيب ، في عملية الانسال بواسطة الحبوب .

ولكن على ماذا تقوم الظاهرة ؟ ان العلامات الخارجية الجوهرية عنها لم تعرف بعد . يجري الكلام عن نوع من التماس بين السائل الذكري والبيضة أو البذيرة ؛ ينتشر سائل غبار الطلع فوق السمة Stigmate [الندبة فوق مدقة الزهرة (المترجم)] ، يرى البعض أن هذا السائل يحتوي على النوى ؛ ويرى آخرون ، لم يتحرروا بعد من الأرسطية ، أنه هو مبدأ الحركة والحياة ، لأن البذيرات تكون قد تشكلت في الأنثى ؛ ويرى غيرهم أيضاً (كولروتر Koelreuter وبوفون Buffon في القرن الثامن عشر) ، بعد أخذهم بتجارب التهجين ، أن النوى أو البذيرات تنتج عن تزاوج المبدأين الذكري والأنثوي .

كتب ميربل Mirbel سنة 1815 يقول : « أما اسلوب العمل الذي يشكل جوهر العملية فهو يخفى على حِسِّنا وعلى فهمنا تماماً » .

والجهل الذي دام التخبط فيه ، يبرز تماماً من خلال مذكرة دوتروشي Dutrochet حول التوالد الثيقي (sexuelle) في النباتات ، والتي نشرت سنة 1820 ؛ ولم تتضمن هذه المذكرة أي تقدم بالنسبة الى معارف القرن السابق . ولكنها الحقبة التي أصبح فيها الميكروسكوب بالغ الكمال على يد آميسي Amici . وبواسطة هذه الآلة ، سوف يحقق العالم الايطالي الكبير الاكتشافات الأولى الحاسمة . والقول الحق ، كان هناك ، منذ ثلاثة أرباع القرن من قبل (نيدهام Needham ، ب. دي جوسيو B. de Jussieu) ، ارصاد حول بعض المظاهر الوظيفية للطلع : الانفلاق في الماء ، المعقوب بخروج مادة

حبيبة ، ثم ظهور نوع من المصران، أو الزائدة الأنبوبية ، ولكن كل هذا بقي بدون معنى دقيق واضح . ومنذ 1750 ، ظنّ الأباتي نيدهام Needham أن المادة الحبيبة في الطلع هي « الحييوانيات المنوية » التي اكتشفها عند الانسان ليونهوك Leeuwenhoeck (1677) . وقد ظنّ علماء الطبيعة من النصف الأول للقرن التاسع عشر ، يومئذٍ ، أن عليهم أن يعثروا على ظاهرات مماثلة ، حتى في التفاصيل ، للظاهرات التي تمّ العثور عليها في الحيوانات .

وأقرت أعمال آميي Amici (1823 -1830) وبرونيارت (Brognart) (1827) ، ضد كل توقع ، أن عملية التخصيب تبدأ بانتاش (بانبات) الطلع على رأس المدقة ؛ فيحصل ظهور زائدة تأخذ في النمو داخل أنسجة السمة من المدقة وقلمها حتى البذيرة . وكان لمجمل هذه الأعمال دوي عميق في عالم العلم . وأثارت مناظرات متحمسة تدخل فيها العلماء الأكبر والأعظم خاصة ر. براون R. Brown (1831) وشليدن Schleiden (1837) . وكانت أعمال اميي الجديدة (1824، 1846) هي التي صححت الوضع .

وانتهى نصف القرن مع نشرات ش. ف. غارتنر C.F. Gaertner (1844) الذي نفذ تسعة آلاف عملية تهجين بخلال خمسٍ وعشرين سنة من البحوث ، ونشرات هوفمستر Hofmeister (1849) الذي أكّد بالتمام والكمال استنتاجات آميي . وبعد ذلك عُرِف انه توجد خلية بويضة في « الحق الجنيني » (الفوق) (تعبير أوجده برونيارت Brongniart) ، وان هذه الخلية ـ البويضة لا تتحول الى جنين إلا بالتعاون مع الطلع . أما عملية الاخصاب بالذات ، ابتداء من لحظة تماس الأنبوب الطلعي مع البذيرة ، فإن أياً من عناصرها لم يكن معروفاً . وكان يعتقد يومئذٍ بوجود سائل يتسرب عبر الأغشية ليدخل الى « الحويصلة الجنينية ، ولم « يستبعد » آميي أن تكون « المادة المهيأة للتكوّن » مؤلفة من « خليط من سائلين أفرزتها الأعضاء الذكرية والأنثوية» وهو تصور عمره قرن! .

الجنسانية عند اللازهريات ـ الى جانب البحوث الجارية حول الاخصاب في النباتات الزهرية بذلت جهود ناشطة من أجل فك عقدة مسألة أعم بكثير ، هي مسألة التناسل عند اللازهريات : الطحالب ، السرخسيات ، الأشنات ، الفطور . وبين سنة 1820 و1850 ، تحققت اكتشافات عديدة وجميلة أدت من جهة الى تعميم النظرية الجنسانية ، ومن جهة أخرى ، الى صياغة قانون هوفمستر Hofmeister حول تناوب الانسال .

ومنذ 1782 ، رصد هدويغ جيداً التشكلات الجنسانية الذكرية (المثبريات : أعضاء الذكورة في اللازهريات) والأنثوية(المبيضات: أعضاء الأنوثة. .) في الطحالب. وبيّن أننا اذا زرعنا البوغ أو الغُبيرة نحصل على الانبات . وفيما بعد أشار شميدل Schmidel ونيس فون ايزنبك Nees Von Esenbeck (1822) ، وبيشوف Bischoff (1828) الى النقاعيات (حيوانات مجهرية تعيش في السوائل) أو الأجزاء الصغيرة التي توجد داخل المثبريات . وكان للعالم الطبيعي الألماني أونغر Unger (1834، 1837) فضل اكتشاف « نقاعية » الحيوانات الذكرية النباتية لدى طحلب المناقع ثم لدى الطحالب الحزازية ولدى المارقنطيات (Marchantia)[نبات من طائفة الكبادي] . وبذات الوقت كان الانكليزي ش فارلي C. Varley يقوم بنفس الاكتشاف . أما معارفنا حول الأعضاء الأنثوية ، فإن

أعمال و. فالانتين W. Valentine (1833) وهوفمستر Hofmeister (1849) هي التي أقرتها .
وفي السلسلة الطويلة من المؤلفين الذين سبقت أعمالهم التركيب الكبير الذي وضعه هوفمستر ، يجب أن نذكر ، وأن نضع في المستوى الأعلى تماماً ، ناجيلي Naegeli (1844) الذي وصف المثبريات ومنويات السرخسيات ، ولتشيك ـ سومنسكي Leszczyc-Suminski (1848) الذي عرف الطبيعة الحقة للأعضاء التناسلية عند السرخسيات ، وج. توريه G. Thuret الذي اكتشف منويات « الشارا » (Chara) (1840) والايكيستوم Equisetum (1849) ، وتوريه ودوكين Decaisne (1844) اللذين كشفا وجود منويات عند الاشنات البحرية من نوع « الفوكوس » (Fucus) .

هوفمستر وتناوب الانسال ـ لم يكتف هوفمستر بالقيام بدراسات تفصيلية رائعة ، بل حاشي كل الوقائع المعروفة منذ هدويغ Hedwig ثم أوضح العلاقات العميقة الموجودة بينها . وبيّن التشابه البنيوي والوظيفي الموجود بين المثبريات والمبيضات في الطحلب وفي السرخسيات . وأبرز التماثل الأساسي في تطور الجنين لدى كلٍ من المجموعتين . وبعد ذلك فرضت فكرة تناوب الأنسال نفسها عليه .

في كل دورة أنسال ، هناك انقطاعان ، مرحلتان : من الغبيرة ذات الأصل اللاجنسي الى البيضة ، ثم من البيضة المخصبة الى الغبيرة . إن الإنسال الأول يحدث الأعضاء التناسلية (المثبريات ، والمبيضات) والانسال الثاني يولد الغبيرات الكثيرة أو الخلايا الإنسالية .

وبعد أن امتلك هوفمستر بعض نقاط الإرتكاز الثابتة استطاع أن يقرر التشابه الكامل بين دورات الطحالب والسرخسيات : إن الطحلب ـ النبات ذا الأوراق يتطابق مع المَشيرة [الجهاز المشيجي في اللازهريات الوعائية] في السرخسيات ، وهو نصل صغير اخضر مجهول من الرأي العام ، ان ثمرة الطحلب تساوي السرخسيات الكلاسيكية ، مع ما فيهما من وريقات ومن أكياس بوغ . إن العلم يكشف هنا ـ وتحت مظاهر متنافرة تماماً ، سواء تعلق الأمر بالشكل أو بالمدة ـ التماثلات العميقة .

وبشجاعة ، تابع هوفمستر عمله الانسالي : فبين أن الطحلبة النبتة المورقة ، والمَشيرة في اللازهريات القنوية الوعائية والسويداء [نسيجٌ مغذٍ في بذر النبات] في الصنوبريات هي مراحل متشابهة . ورأى أن الصنوبريات والسيكاسيات [فصيلة من عاريات البزور] (المزودة بمبيضات وبمَشْيرات) هي حلقة وسيطة بين الكاريات (Characées) والطحلبيات واللازهريات الأنبوبية من جهة وبين كاسيات البزر من جهة أخرى (وهو حدث أثبته بشكل واضح وجلي اكتشاف الحيوينات المنوية لدى بعض عاريات البزر (سيكاس Cycas ، جينجو Ginkgo) من قبل عالمي النبات اليابانيين ايكنوIkenoوهيراس Hirase (1898 -1902)) .

بعد أعمال هوفمستر ، يجب أن نذكر ، من بين الأحداث الأكثر بروزاً ، اكتشاف حالات جنسية منحطة : « تخلق » بدون تلاقح الأمشاج في السرخسيات (فارلو Farlow 1874) ، « انعدام البوغ » (aposporie) عند الحزازيات (برنغشيم Bringsheim ، 1877) ؛ وفي كل من الحالين ، تضطرب الدورات بعمق .

توريه، برنغشيم (Thuret; Pringsheim) واكتشاف الإخصاب ـ ما هو الإخصاب؟ في سنة 1845 ، تساءل برنغشيم كيف تتدخل الأعضاء الذكرية والأنثوية « مادياً في عملية التلقيح » . ومن الغريب ، أن تتم الارصاد الحاسمة بهذا الشأن ، لدى الاشنات ، وهي نبتات دنيا كشفت جنسانيتها من قريب (توريه Thuret ودوكين Decaisne ، 1844) . في سنة 1853 بين المتخصّص في الاشنات الفرنسي ،توريه ضرورة عمل المنويات في اخصاب الفوكوس (Fucus) [صنف من الإشنة السمراء] (Varechs = فاريك) واستطاع الحصول ، في بعض الحالات ، على خلية تنشأ من تلاقح مشيجين (لاقحة)، مهيجنة تتتبعتطورها . ولكنه لم يعثر على ما يسمح له ـ حسب اعترافه ـ بالاعتقاد أن المنويات تتسرب الى « البوغ » ، كما كان « يعتقد بعض الرصاد بأنهم شاهدوا المنويات تدخل الى بييضة الحيوانات » .

والرصد المطلوب والمرجو سوف يكون من حظ برنغشيم (Pringsheim) ، في السنة التالية . توصل هذا المؤلف الى رصد مجرى العملية كاملة عند اشنات المياه الحلوة من نوع الأودوغونيوم Odogonium والفوشيريا Vaucheria . فاستنتج من ذلك المراحل الأساسية : تسرب الحيوين المنوي ، تشكل حالي وآني لغشاء يمنع وصول البويضة المخصبة الى أي حيوين منوي . إن ارصاد برنغشيمPringsheim قد اكملها ف. كوهن F. Cohn . في سنة 1866 ، قام بورنيه Bornet وتوريه Thuretبوصف الاخصاب الخاص جداً في الأشنات الحمراء .

الاخصاب عند ماديات الزهر (Phanérogames) ـ وسم الربع الأخير من القرن التاسع عشر بسلسلة من الأعمال الجيدة جداً والمتعلقة بهذه المسألة . فكانت في البداية ، بين 1875 و1884 ، الاكتشافات المدوية التي حققها ادوار ستراسبورجر Edward Strasburger حول الطلع ، والحُق الجنيني ، والإخصاب . ووصف هذا العالم العظيم بالخلايا تقسيم الخلية وتقسيم النواة .

وفي الوقت (1875) الذي نشرت فيه دراسات ستراسبورجر حول الانقسام الخلوي ، أعلن و. هرتويغ (O. Hertwig) عن نتيجة ملاحظاته حول الإخصاب في عالم الحيوان ، وبصورة أدق ، إندماج النواة المنوية بنواة البييضة . وقد دُرِس هذا الاندماج سنة 1883 -1884 ، من قبل غوروجانكين Gorojankine وستراسبورجر ، لدى النباتات ذات الأزهار . إن دور احدى النواتين الذكريتين المنبثقتين من أنبوب الطلع والموجودتين في الحق الجنيني قد توضح . أما النواة الأخرى ، التي لا تندمج بالخلية ـ البييضة (بييضة غير ملقحة) ، فتطرح أحجية سوف يحلها نافاشين (1898) وغينيار (1899) (Guignard) ؛ ان النواة الثانية الذكر تذوب في النواتين الرأسيتين في الحِق الجنيني ، لتشكل خلية ثانية فريدة أشد الفرادة ، خلية تنمو في الألبومين ، وهو النسيج المغذي للجنين .

وبين سنة 1883 و1887 ، عملت الأعمال الشهيرة التي قام بها العالم بالخلايا البلجيكي أ. فان . بينْدن E. Van Beneden ، المثبتة من قبل بوفيري Boveri (1887) ، على إقرار أن نواة البييضة ونواة الحييوين المنوي تحتويان ، لدى دودة « اسكاريس » نفس العدد من الصبغيات ، وان هذا العدد هو أقل بمرتين في الخلايا المنتجة منه في الخلايا الأصل التي تولدها . وبسرعة شديدة ، رُصِدَت ذات الواقعة : النقص الصبغي (أو الإنقسام في الخلية) لدى النباتات ، من قبل ستراسبورجر (1888)

وغينيار (Guignard) (1889) . في سنة 1893 ، تمكن ستراسبورجر أن يدخل بوضوح امتدادات أساسية على نظرية هوفمستر . وعندها جرى الكلام عن المرحلة « الهلودية » (Haploïde) [وفيها تحتوي الخلية نصف صبغيات الخلية المخصبة] ، بعد تناقص عدد الصبغيات الى النصف ، وعن المرحلة الازدواجية الصبغية [وفيها يتضاعف عدد الصبغيات في الخلية] ، بعد اندماج نواتين .

الجنسانية عند الفطور . الطفيلية ـ لقيت نظرية الجنسانية المصاعب ، في الفطور ؛ وبعض هذه المصاعب ما يزال حتى اليوم لا يجد الحل المرضي . لا شك أنهم كانوا ، في بداية القرن ، غير مؤمنين « بالخلق الفجائي » في الفطور : ومنذ 1729 ، لاحظ ميشلي (Micheli) أن هذه الأجسام تتكاثر بواسطة « الحبوب » ، وباللغة العصرية بواسطة البوغ أو الغُبَيْرات .

ولكن علماء كبار جداً في علم الخلايا أمثال و. بريفلد O. Brefeld وفان تيغم Van Tieghem ، لم ينفكوا ، في أواخر القرن التاسع عشر ، ينكرون التكاثر الجنساني لدى الفطور العليا .

إن الجنسانية ، عند الفطور ، قد اكتشفت في بادىء الأمر لدى المجموعات الدنيا وإذا وضعنا جانباً الأرصاد الأولى التي قام بها اهرنبرغ (Ehrenberg) (1818) على العنفيات ، فقط في منتصف القرن التاسع عشر . هناك ثلاثة أسماء طاغية حول هذه المسألة : الفرنسيان الأخوان تولان Tulasne ، والألمانيان برنغشيم Pringsheim وباري Bary . وأثبتت البحوث الواسعة بالضرورة والمقارنة التي قام بها هؤلاء العلماء ، ضمن نفس الحركة ونفس الجهد ظاهرات أساسية في تعدد أشكال الفطور العليا والطفيلية ، كما قدموا تعريفاً لها وللطفيلية ، فمهدوا الطريق أمام الاكتشافات اللاحقة حول جنسانية الفُطور العليا .

وبين سنة 1847 و1854 كان الأخوان تولان ، وبصورة خاصة لويس رينيه صانعي التقدم الحاسم الحاصل قبل قيام أعمال باري المجيدة . لقد سار علماء الخلايا ، بعد أن ماهوا بين البوغ والبويضات بتأثير من قوة الأفكار السابقة ، في طريق مسدود . في سنة 1851 بَيَّنَ لويس رينيه تولان أن الحقيقة هي شيء آخر مختلف ومعقد ، ان نفس الخلية لدى الأكوميسيت Ascomycètes الطفيلية (الأريسيف Erisyphe) ، ومهماز الجودر (مرض نباتي ، الخ.) ، يمكن أن تعطي انماطاً مختلفة من الغبيرات ، وخاصة الغبيرات من النمط الكوزي أو القرني باعتبارها ، في رأيه ذات طبيعة نباتية . وكان اكتشاف تعددية التشكل . وأصبحت أنواع مختلفة (مثل السكلورتيوم كلافوس ، سفاسيليا سيجيتوم وكوردي ليبس بوربورا) مراحل (نباتية بالنسبة الى النوعين الأولين أو توليدية) لنوع وحيد وواحد سماه Claviceps purpurae وهو النوع التافه المسمى مهماز النجيليات (أو الحبوب الوحيدة الفلقة) . وكان لهذا الاكتشاف انعكاسات عميقة على تطور البيولوجيا وعلى علم تصنيف الفطور . ولكن المسألة بقيت أكثر تعقيداً ، وسرعان ما تكشفت عند دراسة الشقرانيات (فطور تشبه الصدأ) وبخاصة حميرة القمح (Puccinia graminis). ودورة هذا النوع التي تعم على مضيفين مختلفين هما نبتة البربريس والقمح ، وهي تتضمن نمطين من الغبيرات على كل مضيف نمط ، أي ما مجمله أربعة انماط مختلفة . وكان العلماء يومئذٍ يعتقدون بوجود أربعة أنواع من الفطور ، ولكن تولان بينَ الوحدة النوعية في الأنواع المسماة Aecidium وAecidiolum التي تعلق على البربريس ، وكذلك وحدة

النوع في Puccinia و Uredo المعروفين على ورق القمح (1853 -1854) . ولويس رينيه تـولان هـو الذي اكتشف ، من جهة أخرى الأعضاء الجنسية لدى Peronospora .

إن هذه الفطور مشبكيات الأبواغ هي في معظمها طفيليات على نباتات ذات أزهار فتنقل اليها أمراضاً خطيرةً مثل مرض العفان mildiou الذي يعيش على العريش ، ومرض البطاطا . وجمعت أعمال تولان في كتاب بقي كلاسيكياً ، مزود بالصور بشكل مدهش ، ولكنه للاسف غير مكتمل ، تحت عنوان : (Les selecta fungorum carpologia (1857- 1865 .

ومنذ 1857 استكملت أعمال تـولان بملاحظات مهمة قام بها برنغشيم Pringsheim على السبرولينيا Saprolenia وهي بيضيات في التربة وفي المياه ظنها من الطحالب . ووصف أعضاءها الجنسانية فسماها أوغونات (أو أعضاء أنثوية) ومثبريات (أو أعضاء الذكورة) .

وقام آ. دي باري باكمالٍ أول لهذا المجمل الكبير من البحوث . فاكتشف (1863 -1865) العلاقات القائمة بينَ فطر القمح وفطر البربريس ، وهما نوع واحد اسمه « بوكسينا غرامينيس » -Puc) (cinia graminis وأنواع هذا النمط تتطلب عدة مضيفين حتى تستكمل دورتها، وتسمى متباينة المصنف Hétéroxènes ، وهذا المفهوم قد استخرج بمناسبة أنواع أخرى بفضل الأعمال الجليلة التي قام بها العالمان الفرنسيان دوكين وماكس كورنو M . Cornu .

واكتشف باري سنة 1861 عملية التناسل الجنساني في مشبكيات الأبواغ (الصنائيات : جنس من الفطور) : ان الأنبوب المثبري ينفصل بغشاء عن الخيط الذي أحدثه ، ويلتصق بعضو التأنيث ، المعزول بدوره عن الخييط ، ثم يثقب جداره . وبعد الاخصاب يتشكل بوغ انثوي داخل الجراب الأنثوي .

والى باري يعود الفضل في تعريف وتقرير عملية التطفل (1863 -1865) . وفي تلك الأيام لم يكن علماء النبات متفقين حول أصل الفطور الجذورية . ولكن رغم أعمال باستور ، استمر علماء ، حتى من المميزين أمثال ناجيلي Naegeli ، يعتقدون بإمكانية الخلق الفجائي أو كما كانوا يقولون بعملية التخليق المختلف (Hétérogénie). وكانوا يفترضون أن الفطور تستطيع أن تولد من تلف النباتات المريضة . ومنذ 1807 استطاع رائد علم أمراض النباتات ، الجنيفي ب. بريفوست Prévost ، في « مذكرة حول السبب المباشر لتسوس أو تفحم القمح » ان يثبت أن المرض معدٍ ، وحصل على توليد غبيرات لعدد من الجذور الطفيلية . ولكن الأعمال التجريبية التي قام بها باري على : الصنائيات (Péronosporales) والشقرائيات (Urédinales)والسُوَّاديات (Ustilaginales) هي التي حددت بدقة نظرية التطفل وهي التي أدت الى تصنيف الفطور كرمام [أي كحيوانات تعيش على العضويات البالية] أو طفيليات محتملة أو طفيليات ضرورية .

تلك كانت الأسس الأولى لعلم أمراض النبات الحديث ، ثم تلتها سريعاً الأعمال التي بقيت شهيرة ، وهي أعمال الفرنسي ميارديه Millardet الذي اكتشف العصيدة المنسوبة الى مدينة بوردو الفرنسية (1879 -1882) ، ففتح العصر الحديث بالنسبة الى مبيدات الفطور ، وكذلك الأعمال ذات القيمة النظرية العالية ، أعمال هاري مارشال ورد Ward الانكليزي (1880 -1881) .

ولم يكن باري مكتشفاً كبيراً فقط . فقد تتلمذ عليه علماء كبار من الطراز الأول أمثال الألماني و. بـريفلد O.Brefeld أو الروسي م . س . ورونـين M.S. Woronine . والى ورونين يعـود الفضـل في اكتشاف عظيم (1876)، اكتشاف الفطر المخاطي (Myxomicètes) وهو طفيلي يعيش على الملفوف (بلاسموديوفورا Plasmodiophora) .

وباري هو الذي افتتح الطريقة التجريبية في درس الزرع بقصد الحصـول ، انطلاقـاً من بوغٍ واحد بالذات ، على مختلف أنواع الفطور . وبعد أعمال باستور ، تطورت تقنية الزراعة الخالصة في المختبر ، بسرعة ، خاصة في فرنسا ، وكانت أبرزها الأعمال الجميلة التي قام بها ف . فان تيغم Ph. Van Tieghem ولويس ماتروشوت Louis Matruchot. ومنذ 1870 نجح جـول رولين Jules Raulin أولاً في زراعة فطر « اسبرجيولوس نيجر » (Aspergillus niger) فوق وسطٍ تركيبي . ومن الأعمال الأكثر بروزاً التي ظهرت في هذا المجال ، كانت أعمال نويل برنار Noël Bernard ، حول التفطر المتجذر من الداخل في نبتات السحلبيات (Orchidacées) .

الفصل الخامس

النظريات التفسيرية حول التطور

يعترف التطور باستمرارية العالم الحي وباشتقاق الاشكال الحيوانية والنباتية من بعضها البعض بالتفرع . وتعود هذه الفكرة التي تتعارض مع ثبوتية الأنواع الى التراث الاغريقي القديم ؛ فقد فرضت نفسها ، تدريجياً ، على الأفكار ، ويمكن القول أنها كانت مألوفة في القرن الثامن عشر (يراجع المجلد 2 ، القسم III ، الكتاب III ، الفصل I) . ان واقعة التطور راسخة . وبخلال كل القرن التاسع عشر ، قدمت البحوث وقدم التشريح المقارن ، وعلم الأجنة وعلم الإحاثة ، براهين جديدة تدل على ظاهرة التطور . وقد شاهد القرن التاسع عشر ولادة النظريتين الأوليين التفسيريتين للتطور ، وهما نظريتان لم يَعْفُ عليهما الزمن تماماً .

كان لامارك Lamarck تلميذاً لبوفون Buffon ، كبير دعاة التطورية ، فأسس النظرية التي تحمل اسمه « اللاماركيّة » . وفي منتصف القرن ، سوف يقترح داروين Darwin تفسيراً آخر سوف يغير وقعه الضخم كل الفكر .

I ـ اللاماركية (Le Lamarckisme)

لامارك (1744 -1829) ـ ولد جان باتيست دي مونيه دي لامارك Jean Baptiste de Monet de Lamarck المنهجي، والعالم النباتي ، والفيلسوف الطبيعي ، في بيكارديا ، سنة 1744 كان ضابطاً وسرِّح ثم جاء الى باريس حيث بدأ سريعاً بدراسة الطب والتاريخ الطبيعي . وتتلمذ على برنارد دي جوسيو (Bernard de Jussieu) ، ونشر كتاباً عن « النباتات الفرنسية » (1778) . والتفت اليه بوفون . وكلفه ببعض المهمات في الخارج قبل أن يسند اليه منصباً متواضعاً في بستان الملك (Jar-din du Roi) . وفي سنة 1793 ، كلفته حكومة الكونفانسيون التي أسست « متحف التاريخ الطبيعي » بإعادة ترتيب مجموعات الحيوانات الدنيا . ولكي يفصل بين مختلف الأنواع لقي لامارك مصاعب كبرى

ربما كانت في أساس نظريته . كان حتى ذلك الحين من أنصار فكرة « ثبات الأنواع » ، وتوصل الى تصور تطوري نمّاه فيما بعد في كتابه « الفلسفة الزوولوجية » (1809) .

التصور التطوري عند لامارك ـ كان عزل الأنواع المختلفة يطرح مشاكل جديدة . وافترض لامارك أن هذه الأنواع تنتقل فيما بينها ، وأنها لم تكن لتولد ولادة فردية منفصلة . إن النوع يمتلك استقرارية مؤقتة مرهونة باستقرارية المكان :

كتب يقول : « بمقدار ما تتغير ظروف السكن ، والعرض ، والمناخ ، والغذاء ، والحياة . . . تتغير أوصاف القامة ، والشكل ، والتناسب بين الأجزاء ، واللون ، والتماسك ، والرشاقة والتعامل ، عند الحيوانات ، بالمقدار المناسب » .

ان تغيرات الوسط تحدث تحولات في الاحتياجات مما يحمل الحيوانات على اكتساب عادات جديدة « تدوم بدوام الاحتياجات التي ولدتها » .

كتب يقول : « ليست اعضاء الحيوان هي التي ولّدت عاداته وقدراته الخاصة ، بل بالعكس ان عاداته ، وأسلوب حياته والظروف التي تلاقت فيها الأفراد التي أنجبته ، هي التي شكلت مع الزمن شكل جسمه ، وعدد وحالة أعضائه ، وأخيراً القدرات التي يتمتع بها » .

ومن الناحية التاريخية تتتابع الأحداث : فيحدث تَغَيُّر الظروف تغييراً في العادات ، مما يحدث بدوره تغييراً في الأفعال الذي يحدث ، بدوره ، تغييراً في الشكل . وأوضح لامارك نظريته بعدة أمثلة :

من ذلك أن الزرافة ، وقد اضطرت الى قضم أوراق الأشجار جهدت في الوصول اليها ؛ وهذه العادة المنتشرة منذ زمن بعيد لدى كل أفراد النوع ، أدخلت تغييرات مفيدة على الشكل . فأصبحت القوائم الأمامية أطول من القوائم الخلفية ، واستطالت الرقبة بشكل كاف بحيث تصل الى ارتفاع ستة أمتار .

والطير الذي أجبرته الحاجة الى الغذاء فوق الماء ، يفرق بين أصابعه عندما يريد السباحة . واعتاد الجسم على التمدد ، وهكذا تشكل ، بفعل انتقال المفاعيل من جراء التمرن المتكرر ، العديد من الأجيال ، صفاق الطيور المائية الراحي .

تقاتل الحيوانات المجترة بضربات الرؤوس ؛ فأدت الصدمات الى تشكل نتوء قرني أو عظمي : « وفي غالبية ثورات الغضب التي كانت تصيب الذكور في أغلب الأحيان ، وكذلك فورات مشاعرها الداخلية تجتذب السوائل بصورة أقوى نحو هذا القسم من رؤوسها ؛ وهنا يترسب ، بفضل افراز مادة عظمية ، مختلطة بمادة قرنية ، ما يولد نتوءات متينة صغيرة » .

تتضمن اللاماركية إذاً قاعدتين :

أ ـ الحاجة تولد العضو الضروري ؛ والاستعمال يقوي هذا العضو وينميه ، وقلة الاستعمال تتسبب بالوهن وبزوال العضو غير اللازم .

ب ـ ان الصفة المكتسبة تحت تأثير الوسط تنتقل بالوراثة ؛ وإذاً فالصفة المكتسبة هي وراثية . وترتكز النظرية على مسلمتين : الأولى ، تجاوب الجسم مع تغير الوسط أو العادة ، وبالتالي وجود قدرة على التكيف الذاتي المثبت بأمثلة قدمها لامارك ؛ والثانية ، وراثية الصفات المكتسبة .

انتقادات اللاماركية ـ لم تستجلب اللاماركية الحماس ؛ فقد كانت الأفكار غير مهيأة لفهم ولتقبل هذه الأفكار الجديدة . ثم إن صوت لامارك قد خنقة ما لكوفيه (Cuvier) من اعتبار ؛ وكان هذا فكراً ايجابياً وعقائدياً ، فدحض بلا مشقة نظريات لامارك الذي عاش معزولاً شيخوخته الطويلة والمجدة ، التي زادها العمى بلاءً . وكان كوفيه ينظر الى لامارك باحتقار فيقول : « إن أحداً لم يؤمن بخطورة [وجهات نظره] فلم يرها تستحق المهاجمة » .

وكانت الانتقادات اللاحقة التي وجهت الى اللاماركية ، تنصب على مسلمتيه . إن الوسط يحدث أثراً غير منكور على الجسم ، وهذا الأثر يترجم باستجابة تكيفية . ولكن الجسم لا يتجاوب « دائماً » مع تأثير الوسط بتغير مفيد نافع . إن هذا التغير هو في أغلب الأحيان مطلق وبدون أية منفعة . فضلاً عن ذلك ، إن كل التجارب المراقبة من أجل التثبت من وراثية الخصائص المكتسبة قد أعطت نتائج سلبية .

هذا الفشل التجريبي حطم اللاماركية ، إن لاوراثية الاستجابات التكيفية لتأثير الوسط ، تنزع عنها [عن اللاماركية] بذات الوقت كل قيمة تطورية . ولكن اللاماركيين أجابوا أن التجارب قصيرة الأجل ، وان عنصر الزمن مهم جداً . فإذا كان تأثير الوسط يتم خلال آلاف السنين . فإن الاستجابة الشكلية الظاهرية ، أو الفيزيولوجية قد تصبح وراثية . ويمكن القول أيضاً أنه في الوقت الحاضر ، توصلت الأجسام الى حالة من الاستقرار ، بعد أن تلقت في الماضي تغييرات عميقة من خلال تكيفات متنوعة ومتعددة .

ورغم الانتقادات ، والدحض ، وفشل التجارب ، لم تختف اللاماركية تماماً . كان العديد من علماء الطبيعة من أنصار لامارك رغم كل شيء واستمروا يؤمنون بأن للوسط تأثيراً مباشراً على الكائن الحي ، وليس تأثيراً غير مباشر بواسطة الانتقاء .وكانت التجربة ضد انتقال الخصائص المكتسبة ، ولكن هل الأمر هو كذلك دائماً في الطبيعة ؟ ثم إذا كانت اللاماركية صحيحة ، فإنها تعطي تفسيراً بسيطاً ومغرياً لمختلف الأحداث البيولوجية ، ومنها مثلاً البنية الهندسية للعظام . والثشنات [الخشونات] الموروثة ، وكفاف [عمى] الحيوانات المكتهفة . . . الخ .

اللاّماركية الجديدة ـ في أواخر القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين عرفت اللاماركية أو بالأحرى اللاماركية الجديدة ، نجاحاً عجيباً ، على الأقل في فرنسا حيث تولى آل جيارد (Giard) وأ. بريه E. Perrier وج بونيه G. Bonnier ، ولو دانتك Le Dantec وكونستنتان Constantin ، وف. هوساي F. Houssay الدفاع عنها . وكان آ. جيارد ، وهو البطل المدافع عن هذه القضية ، يرى أن العوامل اللاماركية ، وان أثر الوسط ، هي العوامل الأولى والأساسية في التطور ، وان الانتقاء لا يلعب إلا دور عامل ثانوي . وقدم اللاماركيون المغالون تفسيرات ، على الأقل غير معقولة : من ذلك كتب ادوار بريه Ed. Perrier يقول :

«كان الديبلودوكوس [ثعبان ديناصوري برمائي منقرض] (Diplodocus) يمشي على الأرض المغطاة بنبات ملتف كثيفٍ يضطر الحيوان الى شق طريقه فيه. وعملت مقاومة النبات على دفع جسده الى الوراء، وإطالة رقبته؛ وذيله، الممسوك بالأغصان التي تتسكر وراءه، قد استطال بدوره، من جرائها» (الحياة وهي تعمل، 1921، ص 210) .

في الثلث الأول من القرن العشرين ظهرت نظريات صغيرة قريبة نوعاً ما من اللاماركية الجديدة . وكانت قيمتها التفسيرية ضعيفة، من هنا كان وقعها التافه .

II ـ الداروينية (Darwinisme)

شارل داروين (Darwin)(1809 - 1882)وعمله ـ ان النظرية الثانية الكبرى في القرن التاسع عشر هي نظرية داروين .

كان شارل داروين حفيد العالم البيولوجي آراسموس داروين، مؤلف كتاب « زونوميا، أو قانون الحياة العضوية » ، (مجلدان، لندن، 1794 -1796) ، وهو مزيج من التصورات النظرية الذكية، ومن الخيالات الميتافيزيكية، التي لا تخلو من بعض التشابه مع تأملات لامارك ؛ كان في الثانية والعشرين، بعد دراسته في كمبريدج، عندما ذهب، بناء على نصيحة معلمه العالم النباتي هنسلو، بصفة عالم نباتي، على سفينة « البيغل » (Beagle) ، التي كانت تستكشف أميركا الجنوبية وبعض جزر في الباسفيك . ودامت الرحلة خمس سنوات (1831 -1836) ؛ وكان لهذه الرحلة تأثير حاسم على أفكار داروين الذي كان حتى ذلك الحين من أنصار نظرية ثبات الأنواع، ككل علماء الطبيعة في عصره. وعندما عاد الى انكلترا تزوج من ابنة خالته أ. ودغوود (1839) ، وبعد 1842 أجبرته صحته المتدهورة على ترك لندن والإقامة في الريف، في داون، في مقاطعة كنت . وكرس نفسه لدراسة المجموعات التي جلبها من رحلته . ومات في 19 نيسان 1882 ودفن في وستمنستر .

كان يتمتع بموهبة طبيعية للرصد والمراقبة، وقد لفته، أثناء هذه الرحلة حول العالم عدد من الوقائع . ولاحظ، وهو يتنقل من الشمال الى الجنوب، تبديلاً بين الأنواع المتحالفة . ولاحظ تنوع واستيطان جزر غالاباغوس المختلفة، كما لاحظ القربى بين سكان أميركا الجنوبية والجزر القريبة من هذه القارة . وشاهد علاقات القربى بين الثدييات العديمة الأسنان الحية، وبين الثدييات من الأنواع البائدة الموجودة في الطبقات البامبية . وبدت له كل هذه الوقائع، بعد درسها بكثير من الإنتباه والدقة، متنافرة ومتعارضة مع المذهب الثبوتي . وتصور عندها النوع لا كوحدة ثابتة، ناتجة عن خلق كيفي تحكمي، بل كمتنوع متدرج وبصورة خاصة في الأماكن المعزولة . وكانت قد وضعت فرضية تطورٍ تدريجي يصيب الأشكال الحيوانية ؛ وعندها أخذ يبحث عن الآلية الممكنة لهذا التطور . وعثر على هذه التنوعية لدى الحيوانات الأليفة والنباتات المغروسة ؛ إن أهمية التغيرات لم يكن مشكوكاً بها، وعرف كل المربح الذي يجنيه المربون والزراع من عملية الانتقاء الاصطناعي، أي من الانتقاء الدقيق للفسائل . ومن أجل تحليل أفضل لهذه التغيرات، أخذ يربي بنفسه الترغل .

وقد تأثر داروين بكتاب مالتوس الشهير « تجربة حول مبدأ السكان » (لندن 1798) تأثراً كبيراً . لقد بين العالم الإقتصادي الانكليزي في كتابه المذكور التفاوت القائم بين نمو السكان ونمو الموارد الغذائية ، وهو تفاوت ينتج عنه الكثير من المآسي ، ومن الصراعات من أجل الحصول على الغذاء ، أما النصر فيعود الى المتمتعين بمكاسب لا تتوفر لغيرهم . وهكذا وُلدت فكرة الصراع من أجل الحياة وفكرة الانتقاء الطبيعي .

« **أصل الأنواع** » ـ كانت هاتان الفكرتان موضوع تفكير وجهود داروين طيلة سنوات طويلة . وكان يجمع ويحلل مواد كثيرة من أجل نشر كتاب جامع حول هذه المسألة المهمة ، وكان يناقشها مع أصدقائه ومنهم العالم النباتي سير جوزف هوكر ، ومع العالم بالحيوانات توماس هوكسلي ، ومع العالم بالآثار سير شارل ليل . ومنذ 1842 و1844 ، حرر أول عرض لأفكاره ولم ينشره(1) . وأرسل اليه الفريد روسل والاس ، سنة 1858 ، وهو عالم طبيعي انكليزي متجول في ماليزيا ، مذكرة عنوانها « ميل الأنواع للانطلاق بشكل لا محدود ، من النمط الأصلي »(2) ، وفيها تجلى بتوسع مبدأ الانتقاء باعتباره أساساً في تنوع الأنواع . وأدى صبر داروين الطويل في النهاية الى انهيار جهوده الشخصية وبناءً على نصيحة ليل وهوكر ، نشر دراسة موجزة عن نظريته ، قدمت وقرأت بذات الوقت مع دراسة والاس ، في جلسة عقدتها الجمعية اللينية (Linn. Soc.) في لندن في أول تموز سنة 1858 .

وكرس داروين نفسه يومئذٍ لكتابة عرض مختصر للكتاب الكبير الذي كان يعده ، والذي صدر في لندن في تشرين الثاني سنة 1859 تحت عنوان « حول أصل الأنواع ، بواسطة الانتقاء الطبيعي » وقد اعتبر هذا الكتاب الثوري أحد معالم المراحل الأكثر أهمية في تاريخ البيولوجيا .

وهذه هي الخطوط الكبرى للداروينية : ان تغيرات شروط المكان تحدد تنوع الكائنات الحية ، من خلال تأثيرها اما على الجسد وإما على الخلايا المولدة . وميز داروين التغيرات المحددة والتي هي متشابهة لدى كل الأجسام العضوية المتبدلة ، وبين التغييرات غير المحددة والتي تحدث وتتغير بين فرد وآخر . ان كل فرد هو في حالة تنافس مع أشباهه . في هذا الصراع من أجل الحياة تلغى وتعدم التغييرات المضرة . وبالمقابل يستمر الأفراد الذين ينقلون التغييرات المفيدة ويورثونها الى أحفادهم . هذه الاستمرارية في الأشكال الفضلى تتوافق مع نوع من الغربلة ، أو الانتقاء الطبيعي يؤدي الى بقاء الأصلح والأكثر كفاءة . فالتطور إذاً رهن بالتنوعية وبالمنافسة ، وفيها بعد أضاف داروين الى نظريته مبدأ الانتقاء الجنساني ، فالذكور يصارعون من أجل الحصول على الاناث ، وينتصر الذكور الأجمل والأقوى فينجبون وحدهم . وتختار الاناث الذكور الأجمل .

وتابع داروين ، بدون هوادة ، جهده ، فنشر بعدها سلسلة من الكتب(3) أمنت له مكانة عز

(1) نشر هذا النص سنة 1909 ، بمناسبة مرور مئة سنة على ولادة داروين ، من قبل ولده فرنسيس داروين ، وترجمه الى الفرنسية آ. لاميير Lameere ، (داروين ،باريس 1922) .

(2) هذه المذكرة الموجزة نشرت في مجلة الجمعية اللينية ، في لندن. J. Proc. Linn. Soc, 1858, t. III; Zool. 1859 p. 53-62

(3) Zoology of the voyage of H. M. Ship Beagle (1840- 1843); Variations of Animals and Plants under domestication (1868 trad. fr. 1869);...

نظيرها في بيولوجيا القرن التاسع عشر .

الاستقبال الذي لقيته الداروينية ـ كان لنظرية دارون دوي ضخم ، كانت واضحة ومنطقية ، وبدت كأنها تقدم تفسيراً كافياً لكل الأحداث . وكان نجاح كتاب « أصل الأنواع » مباشراً . ونفذت الطبعة الأولى وعدد وحداتها 1250 خلال أسبوع . وصدرت طبعات جديدة وترجمات أخذت تتوالى بسرعة (وترجم الكتاب الى الفرنسية منذ 1862 من قبل كليمانس روايه). ولكن قامت في فرنسا وحتى في انكلترا مناقشات حادة . وكانت تدور حول «أصل الأنواع» وأيضاً حول « نسل الإنسان » (The Descent of Man, and Selection in relation to sex) (مجلدان ، لندن ، 1871 ، ترجمة فرنسية ، باريس ، 1872) .

وقد أثارت نظرية أصل الإنسان ، وتوسعها الحتمي رجال الدين . وانطلقت المناقشات الحادة والمغرضة . ورد هوكسلي على الأسقف الانغليكاني ولبرفورس بقوله : أنه يفضل أن يكون « قرداً يتكامل من أن يكون آدمياً يتقهقر» .

وفي فرنسا حوربت أفكار داروين بعنف من قبل فلورانس الذي لم يكن يعتبر الانتقاء الطبيعي كطرح موضوعي وليد التجربة . أما آ. دي كاترفاج وهـ. ميلن ـ ادوار فقد اكتفيا بانتقادات معتدلة . وهذه المعارضة انعكست على أكاديمية العلوم التي عارضت عدة مرات انتخاب دارون ، والذي لم ينتخبكمراسل لها إلا في سنة 1879 ، في قسم علم النبات . وانضمت بعض الشخصيات الى الحركة التطورية ، وخاصة عالم الإناسة بروكا ، والعالم بالمتحجرات آ. غودري . وكان العالم النباتي نودين ، منذ 1852 ، قد وضع أفكاراً قريبة من أفكار دارون ، وذلك قبل انتشار الداروينية ، حين صرح أن الطبيعة قد أوجدت الأنواع كما نضع نحن أشكالاً متنوعة انطلاقاً من عدد محدود من الأنماط الأساسية ، إنما في إطار غائية عامة سماوية (وهو مفهوم عبر عنه في انكلترا أوين ، خصم فكرة الانتقاء الطبيعي) ، وعلى أساس اشتقاق الأنواع بعضها من بعض وفقاً لخطة مسبقة ، وبناءً على تغيرات مفاجئة .

وفي ألمانيا كان الانضمام الى الداروينية سريعاً وعاماً ، رغم وجود بعض المعارضين . ومنذ1864 ، نشر عالم بالحيوان ، ألماني مهاجر الى البرازيل ، اسمه فريتز مولر كتاباً بعنوان « الى دارون » وفيه يقول ، بناءً على بحوثه حول نمو القشريات ، بأن المراحل المتتالية في حياة الجنين تعكس مراحل التطور في الماضي . وهذا المفهوم سوف يلاقي تجاوباً قوياً من قبل أرنست هايكل (1834 -1919) وهو استاذ في جامعة يينا، وكان من أنصار الداروينية الأكثر حماساً عبر سلسلة من الكتب(1) عرفت نجاحاً كبيراً وانتشاراً واسعاً .

الداروينية الجديدة ـ بخلال السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ارتدت المناقشات التحولية مظهراً جديداً أطلق عليه اسم الداروينية المغالية . وكانت أفكار داروين يومئذ قد بلغت أقصى مداها

(1) Generelle Morphologie der organismen (2 vol, Berlin 1866); Natürliche schöp fungsgeschichte (Berlin, 1868. Trad.fr.Histoire de la création des êtres organisés. Paris 1874) .
Anthropogenie (Leipzig; 1874).

بفضل الداروينيين الغلاة وبصورة خاصة ويزمن ووالاس . فقد فـلا بكل نظريـة دارون ، باستثـاء فكرة لامارك حول وراثة الصفات المكتسبة . وأعطيـا لـلانتقاء فعـالية كـاملة . ولكن ، ومن أجل تثبيت الانتقاء ، كل صفة يجب أن تكون نافعة . وحاول والاس أن يثبت هذه الإفـادة دون أن يخشى أحياناً المبالغات التافهة .

أما الزوولوجي الألماني أوغسـت ويزمن (1834 -1914) ، فلم يكتف فقط برفض وراثة الصفـات المكتسبة بل اعتبرها كمسـتحيلة . ولهذه الغايـة ، قطع ذيـل فئران عنـد الولادة طيلة عـدة أجيال ، فلاحظ أن الصغار تولد دائماً ولها ذيل . ولتفسير عدم وراثة الصفات المكتسبة أطلق كمعتقد ، على أثر نظريته الشهيرة حول استمرارية البلاسما المولدة (1883) قـسمة الجسـم المتعدد الخلايا الى قـسمين السوما والجرمن . أما الجرمن فلا يتلقى أي تأثير من الجسـم أو السوما الذي يشتمل عليه . والسوما والجرمن مستقلان تماماً عن بعضهما البعض . وكـل تغيير يحصـل بسبب داخلي كـامن وقائم في الجـرمن . أما التغييرات السوماتية فليس لها أية قيمة تطورية . وهذه التغييرات لا تؤثر في الجرمن وليسـت وراثية . إذاً ان العضو الضار يستبعد بفعل الانتقاء ، في حين لا يعمل الانتقاء على أي عضو غير مفيد : من هنا استمرارية العضو غير المفيد . وسمى ويزمن هـذا التوقف عن الانتقـاء « بانميكـسي » (Panmixie) . وهذه الفرضية التي قال بها ويزمن تشكل الداروينية الجديدة الويزمينـية .

وقد أشرنا الى الالتقاء المدهش بين أفكار دارون وأفكار والاس ، اللذين عثرا بذات الوقت على مبدأ الانتقاء الطبيعي . ومن بين سابقي دارون ، يرى اسم العالم الطبيعي الهاوي روبرت شـامبرز الذي نشر باسم مستعار كتاباً تحت عنوان « آثـار الخلق الطبيعي » (1844) . وفي هذا الكتاب تُعْـرَض فرضية التطور بمهارة . إن البراهين الرئيـسية المؤيدة للتطور والتي طرحت فيها بعد قد سبق ذكرها . وانه تيار لاماركي تضاف الى تأثير المكان فيـه مشيئة « إلّـهية » .

بعض التيارات المتشعبة .ـ يجدر أيضاً أن نشير الى بعض المفاهيم النظرية المتعلقة بالتطور والتي لم تتجـاوز مرحلة القـول . ان العالم الألمـاني كـارل نـاجيـلي K.Naegeli ، مؤلف « نـظريـة الميكـانيـك الفيزيولوجي في التطور » (Mechanisch-physiologischeTheorie der ...., Munich (1884)) يعزو تحقيق التطور الى قوة تجريدية تهدف الى الكمـال وتعمل في إطـار كل شكـل حيٍ ، وأصدر ت . ايمـر T. Eimer (Die Entstehung der Arten, 3Vol. Iéna . 1888- 1901) أفكاراً مماثلة ، مع اعترافه بالأثر الفعال للعوامل الخارجية مثل النور والحرارة والغذاء .

إن التطور ، بحسـب رأيه ، يتم وفقاً لتوجيهات محددة ، وهذا ما يعبر عنه بكلمـة أورتوجينيـز «Orthogenèse» [ortho = مستقيم = Genèse = تـوليـد تخليق (المتـرجم)] أو «التكـون القـويم» . وعزا العالم الحيواني د . روزا D. Rosa (1900 -1918) ، هو أيضاً ، تحقق التطور ، كتحقق الاختلاف والتفارق ، أثناء النمو الفردي ، الى قوىً داخلية ،وسمّى نظريته أولـوجنيز (ologenèse) [من holo كامل ، وجنيز : توليد تخليق] .

من كل هذه الوقائع ، يبدو بـوضوح أن التـطور كان الموضوع الـرئيسي في البيولـوجيا (علم الإحياء) في النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

الفصل السادس

أصول علم الوراثة

إن الأعمال المجيدة ، التي لم تجد صدىً لها عند ظهورها ، بخلال القرن التاسع عشر ، ارتدت كل معانيها في مطلع القرن العشرين ، وشكلت أسس علم جديد اتسع وتضخم وكان له أهمية ضخمة هو علم « الجنتيك » أو علم الوراثة . ويجدر التذكير هنا ، بالأعمال التي تناولت بشكل أساسي الاحصاء (البيومتريا) كما تناولت التلاقي بين مختلف أشكال النوع الواحد .

بدايات البيومتريا أو علم الإحصاء الإحيائي . ـ ان الدراسة الاحصائية للتغيرات التي تصيب مجموعات الأفراد أو الجماهير ، داخل النوع الواحد ، قد افتتحت من قبل الفيزيائي والاحصائي البلجيكي آ. كيتلي A. Quetelet (1796- 1874) . فقد درس مثلاً التغيرات في القامة عند مجموعة من الأفراد في النوع البشري (« الأنتروبومتريا » [علم الاحصاء البشري] . . . باريس 1871) ، ومثّل هذه التغييرات بمنحنى سماه « متعدد الأوجه التواتري » . وكانت محاور سينات (ابسيس) هذه المنحنيات تتوافق مع القيم العددية لمختلف القامات ، أما المحاور العامودية (أوردوني) فتمثل عدد الأفراد ، أو كما يقال التواترات . هذا المنحنى ذو المسار المنتظم يمثل ذروة تقع عند محور السينات ذي التواتر الأقصى . ونعثر على منحنى مماثل في كل الإحصاءات التي تتناول ، بصفات متنوعة ، جماهير متجانسة ، لدى الأنماط الأكثر تنوعاً من الحيوانات أو النباتات . هذا المتعدد الأوجه التواتري ، المتسع لمجموعات أفراد تزداد اتساعاً ، حتى اللانهاية ، يميل ليصبح منحنياً مستمراً أقصى ، يسمى « المنحنى العادي » أو منحنى غوص Gauss ، ومعادلته هي التالية :

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

باعتبار σ الانحراف المعاييري .

وحول كل المظهر ، الرياضي ، هذه المسألة ، راجع أيضاً دراسة ج . دارموا G . Darmois ، القسم I ، الفصل III .

ومن بين الأعمال التي تدخل في هذا النمط نذكر أعمال النباتي الدانمركي و. جوهنسن W. Johannsen(Elemente der exakten Erblichkeitslehere ، طبعة ثانية ، يينا ، 1913) التي جرت بشكل خاص حول التغييرات في الوزن ، في جمهرة من حبوب الفاصوليا المنبثقة عن حبة أصلية واحدة ، ودرست على سلسلة من الأجيال المخصبة تخصيباً ذاتياً . وهذا ما يسمى بالسلالة النقية . إن أعمال جوهنسن قد حددت بشكل نهائي التقنيات البيومترية ، وأتاحت تمييز الخصوصيات النمطية الظاهرية المتعلقة بأثر الظروف الخارجية والخصوصيات الوراثية النوعية والمتوافقة مع التكوين الوراثي .

وقام مؤلفان انكليزيان ف. غالتون (الوراثة الطبيعية ، لندن ، 1889) وك. بيرسن (1857-1936) بأعمال مهمة تناولت بيومتريا النوع البشري من خلال دراسة التغييرات التي ظهرت على أطراف نفس العائلة بخلال اجيال متتالية . ان البيومتريا تبدو هكذا كدراسة احصائية تتناول التنوع الفردي .

التجارب حول التهجين .ـ وهناك تقنية أخرى ، يمكن أن تندمج بالتقنية السابقة ، هي دراسة التغييرات المحدثة بفعل تزاوج الأفراد من نوع واحد ، ولها خصائص وراثية متمايزة ، مثال ذلك عدة أشكال من نوع واحد أو عدة أنواع مختلفة تتزاوج . هذا التزاوج يولد المهجنات . والمهجنات من أنواع مختلفة ، تكون في أغلب الأحيان عقيمة . من ذلك البغال الناشئة عن تزاوج حمار وفرس . والمهجنات من تشكيلات مختلفة من النوع الواحد ، هي على العموم خصبة ، وعليها يمكن إجراء الاحصاءات البيومترية المتعددة والواسعة . إن البحوث من هذا النوع قد بدأت في القرن التاسع عشر ولكنها لم تأخذ كل مداها إلا في مطلع القرن العشرين .

إن القرن الثامن عشر قد اتسم بسلسلة من الأعمال حول تهجين النباتات، وخاصة أعمال كولروتر وو. هربرت وش. ش. سبرنكل وآ. نايت.

في القرن التاسع عشر درس غارتنر العديد من مزاوجات النباتات المختلفة . وفي فرنسا أجرى ساجريه، ، منذ 1825 مزاوجات متعددة بين أنواع من الشمام أو البطيخ الأصفر « كانتالو » و. « شاتي » . ودرس اندماج الصفات في نمطين من الهجائن(1) . ولكن البحوث من هذا النوع سوف تأخذ أهمية خاصة بفضل الأعمال المتزامنة ـ إذ نشر كل منهما أعماله سنة 1865 ـ لكل من العالمين النباتيين شارل نودين الفرنسي (1815 -1899) ، والآخر ، في برون (اليوم برنو) في مورافيا ، وهو الراهب غريغور مندل (1822 -1884) .

أعمال نودين .ـ في بستان النباتات في باريس اهتم نودين كثيراً بمسألة النوع . ويبدو أنه قال في بادىء الأمر بتحولية محدودة (1852) . وقد اعتبر ، مثل كورنو (محاولة حول أسس معارفنا ، 1851) ان عملية انبات الأشكال اصطناعياً قد تعلمها الانسان من خلال تطور الطبيعة البرية . إن الإنسان في

(1) عدا عن المجربين السابقين على مندل والكلاسيكيين ، يجب أن نذكر طليعياً قلما عُرف ، هو الصيدلي السويسري ج. آ. كولادون (1755 -1830) الذي أجرى ، قبل 1829 مزاوجات بين الفئران الرمادية والبيضاء وحصل على نتائج رائعة بالنسبة الى عصره .

النهاية يجري عملية غربلة عقلانية للأفراد الذين ينحرفون عن النمط النوعي الخاص ، وفي نهاية عدد كبير من الأجيال ، يحصل على النوعية الثابتة أو على النوع الاصطناعي . وابتداءً من سنة 1856 أجرى نودين تهجينات بين الأنواع في عدد عديد من النباتات (ليناريا ، داتورا ، نيكوتانيا ، الخ) ، فحاول ، ولكن عبثاً ، الحصول على أشكال جديدة ومستقرة .

لقد جرت بحوثه في ظروف صعبة . ولكنها مكنته من رسم بعض أطر المندلية : وحدة الشكل عند المهجنات من الجيل الأول (F_1) ، وحدة المزاوجات المتبادلة (مهما كان جنس المولِّد) ، العودة الى أنماط القربى (وهو أمر أثبته على البواكير منذ 1856) ، اختلاف الأجيال (F_2) وما يليها (عندما تكون الأجيال (F_1) خصبة وملقحة ذاتياً) . وبعد أن قرر هذه الوقائع ، التي كانت معروفة نوعاً ما قبله ، وأحياناً منازعاً بها ، بَذَلَ نودين جهده في فهم معناها العميق . وعندها توصل الى وضع الفرضية التي سماها باتيسون Bateson فيما بعد نقاء « الغاميت » (أي الخلايا المنتجة المولدة) . وتكلم نودين عن « عدم اتصال رحيقين خصوصيين ذاتين في الغُبَيْرة وفي بويضات المهجنات » . واعتبر الغبيرة والبويضة ، اما من النمط الأبوي أو من النمط الأمومي . وبين « الغامات » الذكرية و« الغامات » الأنثوية من النمط الواحد يكون التخصيب شرعياً ، ويتجلى بالعودة الى أحد الجدود .

غريغور مندل وقوانين الوراثة .ـ بين سنة 1858 و1865 ، انصرف مندل ، في بستان ديره في برنو ، الى نفس البحوث التي كان يقوم بها نودين ، ولكنه سار الى أبعد . واليه يعود ، بدون منازع ، فضل اكتشاف القوانين الأساسية في الوراثة . كان صاحب فكر رياضي ، وكان يعمل ، لحسن المصادفة ، على مواد دراسية مساعدة للغاية ـ لم يتم تحليلها تحليلاً عقلانياً إلا بعد قرن من الزمن ـ وعرف مندل كيف يعطي هذه القوانين صيغة دقيقة ونهائية .

واختار غير الأنواع ، سلالات ثابتة تماماً ومخصبة تخصيباً ذاتياً ، من نوع يسمى « بيزم ساتيفوم » أو الحمص القابل للأكل . وأخذ في بادىء الأمر يسعى من أجل الحصول على سلالات نقية وثابتة ، من خلال زراعات عادية يقوم بها بصورة مسبقة ، ثم يضع ، بصورة منهجية ، جانباً ، الحبوب التي تعطيها كل نبتة . ثم زاوج ، اثنين اثنين ، بين هذه السلالات ، بواسطة التلقيح الاصطناعي . وهكذا مزج اثنين اثنين أشكالاً متنوعة ذات فروقات دقيقة (حبوب ملساء × حبوب مجعدة ؛ زلال (البومين) أصفر × زلال (البومين) أخضر ؛ زهرة بيضاء × زهرة ملونة ؛ قرن مستقيم ×وقرن وحيد الشكل ؛ أزهار قاعدية × أزهار أطرافية ؛ جذوع قصيرة × جذوع طويلة) .

في كل من هذه المزاوجات ، حصل (مثل نودين) على جيل أولَ (F_1) وحيدِ الشكل ، ينتج واحداً من الشكلين الأبويين . وبالنسبة الى الأجيال اللاحقة (F_2، F_3، F_4) ترك التلقيح الطبيعي يأخذ مجراه . ولكنه في F_2 حصل بشكل منتظم على $\frac{3}{4}$ من النباتات التي تظهر بمظهر واحد من الأنماط الأساسية وربع النباتات من النمط الآخر عاد الى الظهور في حين بدا متستراً في الجيل F_1 . ونقول ان النمط الظاهر في F_1 هو نمط مسيطر (D) . أما النمط المستتر في F_1 ، عندما يظهر في F_2 فإنه يكون متنحّياً (r) . بعد الحصول، انطلاقاً من الحبوب F_2، عن طريق التلقيح الذاتي، على جيل F_3، نلاحظ أولاً: أن ثلث نباتات F_2 المسيطرة لا تنتج حصرياً (100 %) إلاّ نباتات من النمط المسيطر (D)، ثانياً: ان

الثلثين الباقين من النباتات (F_2) المسيطرة تفترق عند (F_3) بمعدل $\frac{3}{4}$ عن نباتات (D) و$\frac{1}{4}$ عن نباتات (r). ثالثاً: إن النباتات F_2 المتنحية (r) تعطي عند F_3، مئة بالمئة من النباتات المتنحية[1].

إن مجمل هذه النتائج يُفسَّرُ، كما استنتج مندل، بالإفتراض أنه، في النباتات F_1 المهجنة، تكون الغامات [جمع غامة] [أو الخلايا الخصبة] متساوية، من النمط النقي من أحد الأبوين الأساسيين (p)، وتتزاوج بحسب المصادفة. هذا القانون حول نقاء الغامات (صفة واحدة في كل زوج، في الغامة الواحدة)، صاغه، من جهته نودين، إلا أنه هنا قد تركز على معطيات إحصائية دقيقة.

إن المزاوجات DD أو rr تسمى وحيدة اللواقح، أما المزاوجات بين غامتين مختلفتين فتسمى مختلفة اللواقح، والمزاوجات المتنوعة من غامات F_1 تعطي، بالنسبة الى F_2 : DD واحد واثنين من Dr وrr واحد، أي 25% DD (المسيطرة وحيدات اللواقح) و50% Dr (المسيطرة مختلفة اللواقح) و25% rr (متنحّية وحيدات اللواقح)، وهذه الأخيرة وحدها تنتج الشكل المتنحّي الأساسي.

فضلاً عن ذلك قام مندل بتجارب مشابهة، فزاوج عن طريق التخْصيب المتصالب، أرومات نقية مختلفة فيما بينها، بصفتين أو ثلاث أو أربع صفات مذكورة أعلاه، ودلته التجربة، أنه، في هذه التصالبات، ينتقل كل زوج من الصفات وفقاً لنفس القوانين، كما لو كان هو الوحيد المعني ؛ مما يعطي، في F_2، وبالنسبة الى مزدوجين من الصفات (ab, AB) ستة عشر مزيجاً تظهر بأربعة أنماط بنسب : 9 AB، 3 Ab، 3 aB وا ab. وبالنسبة الى مزدوجات ذات ثلاث صفات مجتمعة (A,a,B,b,C,c) فنحصل على 64 مزيجاً تظهر في F_2، بنسب 27 ABC ؛ 9 ABc ؛ 9 AbC ؛ 9 aBC ؛ 3 abC ؛ 3 aBc ؛ 3 Abc ؛ 1 abc ؛ ويمكن التعميم بالنسبة الى مزائج ذات عدد أكبر من الصفات.

ودل تحليل النتائج التي حصل عليها مندل على أنه في تزاوج الأعراق التي تختلف فيما بينها بجزيئين على الأقل، يمكن أن تتولد اعراق جديدة مستقرة (اندماجات جديدة وحيدة اللواقح).

ونقدم هذا التفصيل لأنه ينتج عنه عنصر رئيسي بالنسبة الى قوانين الوراثة عند النباتات وعند الحيوانات ؛ عنصر سوف يظهر بالشكل الأوسع والأكثر أمانة، مع بداية القرن العشرين : الاستقلالية في نقل مزدوجات من السمات. وحول هذه النقطة، قد توحي استنتاجات نودين بأن الانفصال لا يلعب إلا بين الجوهرين الذاتيين المجتمعين بصورة مؤقتة في المهجَّن، والمنفصلين ككتل عند تشكل الغامات.

وتوصل مندل من هذا، بعد أن بيّن استقلال السمات، الى وضع وجود الوحدات الوراثية، أي العناصر الحاسمة المحددة، داخل الخلية الانتاشية (المولِّدة) ؛ لأن الوجود الموضوعي والمادي

---

(3) (وهذه بعض الارقام من تجارب مندل هذه : تزاوج بين حمص أصفر (D) × وحمص أخضر (r) ؛ في (F_1)، من أصل 8023 حبّة هناك 6022 صفراء (D) : 2001 خضراء (r). ومن تزاوج حبوب ملساء (D) × وحبوب مجعدة (r) : في (F_1)، من أصل 7324 حمصة ، 5474 ملساء (D) ؛ 1850 مجعدة (r)).

هـذه الوحـدات بدا لـه كضـرورة نـظريـة . وبعـد خمس عشـرة سنة ، ثبّـت اكتشـاف الصبغيـات (كروموزوم) هذا الاستباق الباهر .

وبعد 1865 ، قام مندل ببحوث أخرى حول نبتة مختلفة ، ولكن يدخل في إنسالها ، كما عُلِمَ فيما بعد ، عمليات تكاثر لا جنساني [خنثوي = عديم الجنس] غطى وحجب القوانين العددية السابقة .

وكان من الطبيعي ، بصورة أفضل ، أن يكون لأعمال بهذه القيمة وبهذا الوضوح دوي مباشر ولكن ، لم يحدث شيء من هذا ، فسقطت في النسيان . واطلع مندل على أعمال نودين ، كما يتحصل من أحد رسائله الى ناجيلي . وبدا نودين ـ المعزول تماماً بفعل صممه شبه الكامل ـ وكأنه لم يعرف أبداً مندل . وهناك سلسلة كاملة من العلماء الطبيعيين المهتمين بمسائل الوراثة أمثال داروين ووايزمن وي . ديلاج ، الخ . كانت تجهل تماماً إنجاز مندل . وهو إنجاز لم يخرج من الظل الا سنة 1900 ، لكي يعرف يومئذٍ نجاحاً وانتشاراً باهرين(1) .

مفهوم النوع والتغيار الاحيائي [تغير فجائي في الوراثة يُحْدث مواليد جديدة مختلفة عن الأبوين (المترجم)] ـ هناك مفهوم جديد ، مرتبط تماماً بالمعطيات السابقة ، سوف يظهر أيضاً ، ذلك هو مفهوم « التغيار » المرتبط ارتباطاً وثيقاً بالدراسة العميقة للنوع ؛ وهذه الدراسة كانت تستحوذ على علماء الطبيعة منذ منتصف القرن التاسع عشر (2) .

إن النوع ليس وحدة مطلقة غير قابلة للانقسام . ودراسته الدقيقة أدت الى تقسيمه الى فروع ثانوية ، متعددة ومحددة نوعاً ما ، عليها تنطبق تسميات الأصناف والسلالات . والتزاوج بين هذه تكون خصيبة للغاية وتجر وراءها تركيبات رأينا أنماطها ؛ إنما تمكن أيضاً دراستها بذاتها .

وقام عالم نباتي هاوٍ من ليون ، اسمه الكسي جوردان (1814 -1897) ، مخاصم للمفاهيم التحويلية ، ببحوث ، بين 1856 و1873 ، واسعة ودقيقة فزرع ، على حدة ، أصنافاً التقطها من الطبيعة . فاكتشف مثلاً لدى نبتة من الصليبيات [فصيلة نباتية من ذوات الفلقتين عديدة التويجات] شائعة جداً في مناطق فرنسا اسمها « درابافرنا » (Draba Verna) تشكيلات تصل الى حدود المئتين ، تثبت من استقرارها ، عبر أجيال كثيرة متتالية . إن التنوعية الظاهرية في النوع ، التي يذكرها التحوليون ، لم تكن بالنسبة اليه ، في الواقع ، الا تعايش وتزامن هذه التشكيلات المستقرة ، التي يشكل تراكمها النوع الليني (Linnéenne) [نسبة الى ليني Linné] .

إن هذه البحوث التي قام بها جوردان ، تشكل ، على كل حال ، توثيقاً متيناً اتخذ معنىً دقيقاً في علم الوراثة الحديث . واقترح النباتي الهولندي لوتسي كلمتي « لينيون » (Linneon) « وجوردانون »

(1) ان مذكرة مندل الأساسية ، نشرت باللغة الالمانية في مجلة « التاريخ الطبيعي في برنو » (مجلد 4 ، 1865 ص ص 3-47). وهذا النص كان من حيث المبدأ تحت متناول اليد ، رغم أن انتشار هذه المجلة كان محدوداً نوعاً ما . وقد ترجمت المقالة الى الفرنسية ونشرت من قبل آ. شابلي A. Chapellier تحت عنوان « بحوث حول المهجنات النباتية » (« النشرة البيولوجية في فرنسا وبلجيكا » ، 1907) .

(2) سنة 1859 ، أي في السنة ذاتها التي نشر فيها داروين « أصل الأنواع » ، نشر النباتي الفرنسي آ. غودرون A. Godron كتاباً عنوانه « في النوع وفي السلالات . . . » .

(Jordanon) للدلالة على النوع المجموعي وعلى الوحدة الأولية التي حددها جوردان .

ومن جهة أخرى ، في أواخر هذا القرن التاسع عشر ، أوضح مؤلفون متنوعون التغييرات المفاجئة والمتقطعة التي كان داروين قد أشار اليها تحت اسم « المنحرفات أو الشاذات » أو « الأنواع الفريدة » ، دون أن يعطيها أهمية لأنها في الواقع ، وبصورة دائمة تقريباً ، خاسرة على صعيد المنافسة الحيوية ، وبالتالي مستبعدة حتماً بفعل الانتقاء الطبيعي .

في سنة 1894 ، نشر عالم الحيوان الانكليزي و. باتيسون W . Bateson ، تحت عنوان ذي دلالة « مواد لدراسة التنوع معالجة بنظرة خاصة الى الانقطاع في أصل الأنواع » دراسةً حول هذه التنوعات المفاجئة والمتقطعة .

وفي السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ، نشر النباتي الروسي س. كورجينسكي S. Korginski (1860 -1900) ، عشية موته المبكر ، في سنة 1899 ، تحت عنوان « اختلاف الذرية عن الأصل أو التولد الذاتي والتطور » (Hétérogenèse et Evolution) ، « نظرية حول تشكل الأنواع » ، كتاباً يبحث فيه الأطروحة المعاكسة لأراء داروين ، ومفادها أن الأنواع لا تتحول أو تتغير بتقلبات بسيطة ومستمرة ، بل بتغيراتٍ مفاجئة ، وقدم على ذلك أمثلة مأخوذة عن نباتات وحيوانات اليفة .

وقام النباتي الهولندي هوغو دي فري (Hugo de Vries) (1848 -1935) ، ومنذ 1886 ، ببحوث واسعة حول نبتة مغروسة (Cultivée) ، أخذت تنتشر بحالتها الطبيعية هي « أونوتيرا لاماركيانا » (نبتة من أصل أميركي من فصيلة الاخدريات œnathéracées أو Onagracées)، وقد لاحظ وجود تنوعات لها غير متواصلة ومفاجئة . ونسق بين هذه المعطيات بسلسلة من الوقائع المتشابهة مرصودة في النباتات والحيوانات (وخاصة الوقائع التي جمعها كورجنسكي) (Korginski) ونشر كتاباً مهماً « في التحولات » (مجلدان ، ليزيغ ، 1901 -1903) حيث أطلق اسم «انتقال » على التغيرات المفاجئة والوراثية ، التي كانت ، بحسب رأيه ، في أصل تشعب الأنواع .

إن مفهوم الانتقال ، المثبت على هذا الشكل ، سوف يتوضح ويتوسع ويلعب دوراً رئيسياً في تطور علم الوراثة (جنتيك) ، على أساس أعمال مندل ، التي سحبت من النسيان في فجر القرن العشرين بفضل النمساوي أريك فون شرماك Eric Von Tschermak ، وبذات الوقت ثبتت هذه الأعمال تجريبياً من قبل هوغو دي فري Hugo de Vries ومن قبل الألماني كارل كورنس Karl Correns .

ولكن هذه المراحل الجديدة تدخل في تاريخ البيولوجيا في القرن العشرين ، وهي ستدرس في المجلد اللاحق من هذا « التاريخ » . ونحيل أيضاً على هذا المجلد تحليل النظريات الأولى الخاصة بالوراثة (أو النظريات الميكرومترية = [القياسية الدقيقة للغاية]) والتي صيغت في السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ، ولكنها لم تأخذ كل مداها ، إلا في القرن التالي ، حيث ارتكزت بآنٍ واحد على الاكتشافات السابقة (قوانين مندل ، التحولات ، اكتشاف الصبغيات) وعلى التقدم السريع في علم الخلايا وفي علم الوراثة التجريبي .

الفصل السابع

عصر ما قبل التاريخ العلمي

ولد « عصر ما قبل التاريخ العلمي » في القرن التاسع عشر بفضل تكاثر الاكتشافات ، وبفضل إيجاد المناهج الجديدة وتحسينها .

بخلال هذا القرن ، تمّ إثبات الأقدمية الحقيقية « للإنسان » ، وصنفت صناعاته الحجرية ودرست الحيوانات المعاصرة . وتم هذا العمل بفعلٍ متزاوج من قبل الجيولوجيين والأناسيين وعلماء الآثار : يدرس علماء الآثار الصناعات السابقة على التاريخ ، ويتفحص الاناسيون العظام البشرية في حين يحاول علماء الجيولوجيا فهم تتالي التربات الرباعية ليثبتوا فيها ، طبقة فطبقة ، العظام البشرية ، والمتحجرات ، والأدوات والحيوانات .

التعرف على وجود « الناس المتحجرين » ـ لقد دارت المعركة في سنة 1801 و1868 من أجل « الانسان المتحجر » ؛ معركة حامية بين الأمناء على العلم الأصيل (التقليدي) وبين مؤسسي « ما قبل التاريخ » ؛ وقد اعتمد هؤلاء الأخيرون على اكتشافات عدة جرت في المغاور أو في طمي الأنهار . وظهرت ثلاث مراحل في هذا التطور الفكري :

1 ـ في أواخر القرن الثامن عشر ، كان الافتراض السائد دائماً بصورة رسمية أن أي رجل لم يكن معاصراً للحيوانات البائدة (فيلة ، وحيد القرن، الرنة ، الخ) التي عُثِرَ على بقاياها ، في كل مكان تقريباً في الترسبات الرباعية . ان الاكتشافات المشار اليها سابقاً والتي حققها جون فرير John Frere (المجلد الثاني القسم III، الكتاب II ، الفصل VI) في السوفولك Suffolk سنة 1800 مرت غير منظورة ، وتخلى المؤلف نفسه عن بحوثه .

2 ـ وقد تقرر فيما بعد أن بعض البشر كانوا معاصرين لهذه الحيوانات ، ولكنهم لم يكونوا بحال من الأحوال أجدادنا ، نظراً لأنهم فصلوا عنا بكارثة « الطوفان » الكوني ، وهو مادة إيمان تعلو على النقاش .

3 ـ وأخيراً تم التوصل بهذا الشأن ، بعد الصراع المذكور ، إلى أن « الإنسان » الحالي هو بالتأكيد السليل المباشر « للإنسان » المتحجر ، السابق على التاريخ ، الذي عاش بخلال العصر الرابع ، وبذات الوقت مع الثدييات الكبرى الزائلة .

التنقيبات في المغاور ـ كان من أوائل المنقبين في المغاور ف . جوانت F. Jouannet الذي عثر على صوانٍ مقصوب وعلى عظام لحيوانات متحجرة ، في مغاور كومب غرنال Combe-Grenal ، قرب سارلات Sarlat ، في الدوردونيه سنة 1815 .

وفي سنة 1823 اكتشف آمي بوه Ami Boué نصف هيكل عظمي بشري ، وبقايا ثدييات متحجرة ، في قاع الرسوبات الغرينية (الطمي) (Loess) القديمة في منطقة لاهر Lahr على الضفة اليمنى لنهر الرين ، تجاه ستراسبورغ . ودرس كوفيه Cuvier هذا الاكتشاف فاستنتج بأن هذا الهيكل لم يكن قديماً ، وأنه جاء ببساطة ، من مقبرة .

بين سنة 1826 و1829 عثر تورنال في مغارة بيز (في منطقة أود) على بقايا من السيراميك ، وعلى عظام لحيوانات متحجرة وعلى بعض عظام بشرية وعظام رنة محفورة بيد الانسان . وفي سنة 1829 اكتشف كريستول ، من مونبليه عظام انسان وضبع ووحيد قرن في بقايا مغارة بندرة . وتمت اكتشافات مماثلة من قبل أ. دوماس في مغارة سوفينيارغ ومن قبل الدكتور بيطور في فوزان (منطقة هيرولت) . في هذه السنة بالذات ثبت آمي بوي ملاحظاته من سنة 1823 ، ولكن الكسندر برونيارت أعاد نشر حكمه دون الاستعانة بكوفيه القوي جداً ، في « حوليات العلوم الطبيعية » . وكان رفض كوفيه الاعتقاد بمعاصرة الانسان والثدييات المتحجرة من العصر الرابع كافياً حتى تلاقي كل هذه البحوث رفضاً وشجباً (أ. هامي). وبذات السنة 1829 عثر الدكتور ب . ش . شمرلنغ في مغاور انجيس وانجيلهول ، قرب مدينة لياج على صوان مقصوب ، وعلى عظام حيوانات متحجرة وعلى جماجم بشرية تحت الطبقة الدوسوبية (ستالاغميت) . وعلى كل لم يعرف كيف يتخلص من أخطاء كوفيه واعتقد أن هذا الخليط متأت من انتقال ومن نقل (بحوث حول العظام المتحجرة المكتشفة في مغاور مقاطعة لياج ، 1833) .

وفي انكلترا نقب ماك انيري في مغارة قرب توركاي (ديفون شاير) ، في كانتس هول فعثر على صوان مقصوب ، وعلى عظام ثدييات كبيرة ، متمركزة تحت الطبقة الستلاغميتية . ولكنه نشر اكتشافه مع معلمه ويليم ي. بوكلاند ، فاضطر « احتراماً » ، كما يقول ليل ، إلى «إخفاء رأيه الشخصي ، والى عدم الإفصاح بأن بعض قطع الصوان من نمط قديم جداً كانت معاصرة لحيوانات انطفأت وبادت ولم يبق منها الا العظام » . وفي سنة 1840 أصدر روبير غودوين ـ أوستن نفس الملاحظات ، ولكنه أكد « أن العظام ومصنوعات الإنسان قد وضعت في المغارة قبل أن تتكون هذه الطبقة من الستالاغميت » وعلى كل ، ان هذه الاكتشافات المهمة لم تلفت الانتباه ، ورفضت مجلة « جمعية الجيولوجيا اللندنية » تنزيل مذكرة من ادوار فيفيان حول هذا الموضــوع .

وهكذا لم تؤخذ التنقيبات الأولى التي أجريت في مغاور فرنسا وبلجيكا وانكلترا مآخذ الجد . وكذلك كان الحال مع الأسف ، بالنسبة الى الاكتشافات التي تمت بصورة موازية في الترسبات .

جاك بوشير دي بيرتس ومدرسة أبيفيل-في سنة 1797 تأسست في آبيفيل جمعية متواضعة اسمها : « جمعية المنافسة » فلعبت دوراً ناشطاً جداً في تطور الدراسات المتعلقة بما قبل التاريخ . ومن أوائل أعضائها العالم الاحاثي لورانت ترولي (1758 - 1829) ، الذي أخبر أكاديمية العلوم في باريس ، وأكاديمية التسجيل والفنون الجميلة ، بواسطة كوفيه ومونجي Mongez بالعديد من المكتشفات المعثور عليها في أتربة نهر السوم Somme، ويمكن أن يعتبر كمؤسس لعلم الآثار الطبقاتية .

كتب مونجي بهذا الشأن يقول : « لاحظ م. ترولي بصورة دائمة أن الأثريات التي تبدو غاليَّة (نسبة الى غاليا) موجودة في التنقيبات الأكثر عمقاً . وان الرومانيات تقع فوق هذه ، وأخيراً إن الآثار الفرنسية ، أو بصورة أولى الفرنكية Francisques تبدو أول الأمر أمام العمال » .

وهناك عضو آخر في الجمعية هو الطبيب والعالم الطبيعي كازمير بيكار (1806 -1841) ، أخذ يتتبع أيضاً التنقيبات المحلية التي كانت تعطي من وقت الى آخر « فراعات سلتية » . في سنة 1830 عثر على قراب من قرن الأيل وعلم باكتشاف أربع فراعات مكسورة الذراع ، فأكد وجود فراعات مقصوبة وفراعات مجلية ، بشكل مستقل ، وبالتالي وجود صناعة شظايا الصوان . كان جاك بوشيردي برتس (1788 -1868) موظفاً في الجمارك ، وكان يهتم بشكل خاص بالاقتصاد السياسي ولما أصبح رئيساً لجمعية المنافسة في آبيفيل سنة 1836 ، تتبع بعدها التنقيبات الأثرية واهتم بإنشاء متحف محلي . وفي 1837 ، قرأ على زملائه عرضاً فلسفياً مختصراً ، أغفل فيه تمشياً مع أفكار كوفيه السائدة عموماً ، ذكر قدم الانسان .

وفي سنة 1841 ، عثر في مرملة مانشكور على العديد من العظام فأرسلها الى كورديه في المتحف الوطني . ونذكر هنا مخاتلة أولى وهي أن العمال في جوار آبيفيل قد « عثروا » ، بناءً على طلبه الملح على « فراعات سلتية » ، في الطبقات ذات العظام . وعلى كل عثر بوشير دي برتس ، في تموز وآب من سنة 1844، بنفسه و في مكانها ، على عدة « فراعات مقصوبة » وعلى ناب فيل . وفي 7 تشرين الثاني 1844 أوضح وجهة نظره أمام زملائه في جمعية المنافسة في آبيفيل :

« أما أولئك الرجال الذين عثرنا على آثارهم في الطبقات الطوفانية السفلى ، فليس لهم ورثة على الأرض ، ولسنا نحن أبناءهم ، لأنهم قد أبيدوا كما أبيدت الثدييات الأخرى المعاصرة لهم : ان هؤلاء الرجال السابقين على الطوفان ينتمون الى أزمنة خارجة عن كل تراث موروث ، وأبعد من كل الذكريات » .

ونحن في هذا في المرحلة الثانية : إن الرجال الذين صنعوا الفراعات المقصوبة هم من المعاصرين للماموث والرنَّة ولكنهم ليسوا أجدادنا ، لأنهم قد أبيدوا بفعل الطوفان التوراتي .

إلا أن الاكتشافات تكاثرت وفي سنة 1846 وجه بوشير دي برتس Boucher de Perthes الى الأكاديمية القسم الأول من بحثه حول الأثريات السلتية والسابقة على الطوفان وعنوانه (« حول الصناعة الأولى أو الفنون في منشئها ») ، وطلب إرسال لجنة تتثبت من صحة اكتشافاته . وتشكلت

هذه اللجنة ، ولكنها لم تترك مكانها ، لأن العلم الرسمي استمر يرفض الاهتمام بهذه الموجودات .

ولكن فلورنس Flourens وكورديه Courdier نصحا بوشير دي بيرتس أن يتخلى عن بحوثه ، في حين أنكر ايلي دي بومون كل شيء إطلاقاً .

في هذه الأثناء ، في سنة 1853 وبعد أن زار الدكتور ريغولو Rigollot مراقد سان أشول انحاز الى جانب بوشير دي بيرتس . وفي سنة 1859 جاء الى آبيفيل العالم الاحاثي الفرنسي البرت غودري كما جاء اليها علماء بريطانيون عظماء هم فالكونر Falconer وليل Lyell وبرستويتش Prestwich وجون ايفانس ثم رجعوا مقتنعين . في حين قدم غودري امام أكاديمية العلوم في باريس مداخلة مؤيدة جداً ، أكد الجيولوجيون الانكليز قناعتهم في عدة مقالات وبعد ذلك بعدة سنوات أعلن ليل عن ايمانه المؤثر في كتابه « الحقيقة الجيولوجية حول أقدمية الانسان » (لندن 1863 ؛ ترجمة فرنسية تحت عنوان «قدم الانسان تثبته الجيولوجيا ، باريس 1864 ») فأثار به انفعالاً كبيراً في الأوساط العلمية . وبعد ذلك كما قال كارتيلهاك Cartailhac قام « الرجال العظام بالحج الى آبيفيل » .

فضلاً عن ذلك وفي سنة 1860 قرأ بوشير دي بيرتس أمام جمعية المنافسة في آبيفيل خطابه الشهير « حول الإنسان السابق على الطوفان وأعماله » في حين عثر هـ. ج. غوص Gosse من جنيف على صوان مقصوب وعلى عظام الماموث في مرملات شارع غرينيل وشارع موت ـ بيكيه في باريس .

عمل لارتيه ـ في نفس هذه السنة استكشف ادوار لارتيه (1801 -1871) ، وكان محامياً ممتهناً ، وهاوياً كبيراً للجيولوجيا ولعلم ما قبل التاريخ ، محطة اوريناك (الغارون الأعلى) وارسل مذكرة حول « أقدمية جيولوجيا الجنس البشري في أوروبا الغربية » الى أكاديمية العلوم في باريس . وأمام الاستقبال المتحفظ الذي لقيه ، نشر ملاحظاته في عدة مجلات دورية . وقام لارتيه ـ الذي اكتشف في سنة 1854و 1856 بقايا قردين مجسمين ، « بليوبيتيك والدريوبيتيك» ـ ، يعارض في مذكرة له من سنة 1858 ، « حول الهجرات القديمة لثدييات الزمن المعاصر » ضد أفكارالطوفان وضد الكوارث . وظن أن تاريخ الانسان كتاريخ الحيوانات أو كتاريخ الأرض هو عمل مستمر ، فقدم العناصر الأولى لتأريخية إحاثية (1861) . كتب يقول « بالنسبة الى الحقبة التي مرت على البشرية الأولى ، يكون عندنا عصر الدب الكبير دب المغاور ، وعصر الفيل ووحيد القرن، وعصر الرنّة وعصر الأرخص » . ومهما كانت هذه المحاولة الأولى غير مكتملة من ناحية التصنيف فإنها تدل على أن مسألة الانسان ومسألة ما قبل التاريخ يجب أن تندمج في إطار الجيولوجيا .

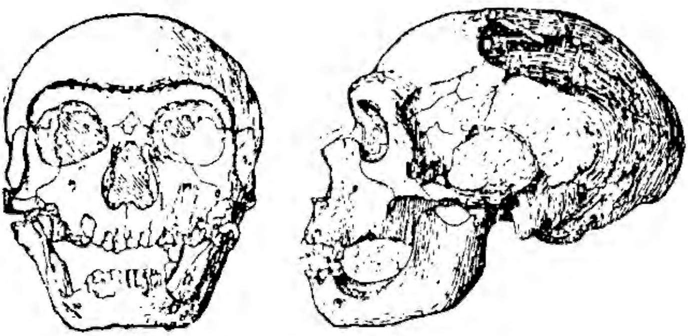
واضطر ايلي دي بومون الذي أكد سنة 1863 على عدم إيمانه بأن الماموث والانسان قد عاشا بنفس الوقت ، الى التسليم نهائياً في السنة القادمة على أثر اكتشاف لارتيه للماموث الشهير المحفور داخل مغارة مادلين في مقاطعة الدوردونيه .

وعندما توفي بوشير دي برتس (Boucher de Perthes) سنة 1868 ، كانت النخبة الحقة من مجتمع العلماء قد تحولت الى أفكاره (الا أن الجميع لم يكونوا مقتنعين ، وفي بعض الأوساط الرجعية ، كانت الفضيحة ما تزال كبيرة الى درجة أنه عند وفاة بوشير دي برتس ، سحبت كتبه من الأسواق بقرارٍ من العائلة ، وبيعت من أجل إتلافها ، وبعد عدة سنوات ، في سنة 1875 ، كان لكتاب فكتور مونيه

Victor Meunier « أجداد آدم ، تاريخ الرجل المتحجر » الذي يحكي قصة استشهادبوشير دي برتس ، نفس المصير ، قبل أن يعرض في المكتبات ، ولم ينشر الا سنة 1900 (م. بول M. Boule « الرجال المتحجرون » ط 3 باريس ، 1946 ، ص 11) .

وفي سنة 1869 كان لتعيين ادوار لارتيه E. Lartet على رأس كرسي علم الإحاثة في الميزيوم (Muséum) ، ان كرس بصورة رسمية هذا الانتصار . وبقي أن تكتشف وان تصنف الحيوانات المتحجرة ، والصناعات الحجرية . وسيكون هذا من مهمات النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

إكتشافات الأشخاص المتحجرين . ـ في سنة 1865 ، نشر الدكتور فولروت D. Fuhlrott وصف بعض أجزاء (طاسة جمجمة ، وبعض عظام طويلة) امكن إنقاذها من هيكل عظمي اكتشف سنة 1856 من قبل عمال مقلع كائن في واد سمي نياندرتال Néanderthal ، بين البرفلد Elberfeld ودوسلدورف Dusseldorf ، في بروسيا الراينية . وكانت الطاسة الجمجمية تلفت النظر بتراجع الجبهة ، وبروز قوسي الحاجبين ، وبروز القذال الى الخلف .



صورة 17 ـ انسان النياندرتال

جمجمة لاشابيل ـ أو ـ سان La Chapelle aux — Saints

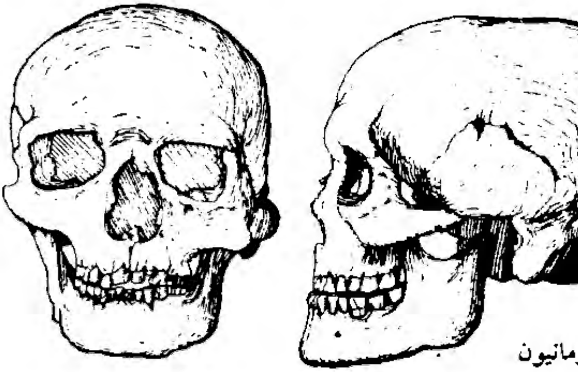
وتردد كثير من علماء الطبيعة في بادىء الأمر فينسب هذه الجمجمة الى الانسان . ومع ذلك كان نمط انسان النياندرتال بالذات (صورة 17) هو الذي سوف يعثر على بقاياه ، في كل مكان تقريباً ، مختلطاً في بعض الأحيان مع معدات شبه بدائية (النمط الموستيني) [نسبة الى موستيه Moustier : منطقة تنقيب من عصر ما قبل التاريخ في فرنسا] : آرسي ، سور ـ كور Arcy-sur-cure (يون Yonne ، 1859) جبل طارق (1864) بروكس Brüx (بوهيميا Bohême 1872) ، لانوليت Naulette (قرب دينانت Dinant ، بلجيكا ـ 1866) قبل أن يُكْتَشَفَ منها هيكلان عظميان شبه كاملين ومحفوظان جيداً ، سنة 1886 ، في سباي Spy (قرب نامور Namur) .

في سنة 1868 ، وأثناء القيام بأعمال توضيع السكة الحديدية في بيريغو Périgueux في آجن

Agen ، عثر لويس لارتيه Louis Lartet ، على خمسة هياكل عظمية تحت ملجأ كرو ـ مانيون Cro-Magnon قرب ايزي (Eyzies) (دوردونيه) (Dordogne) ، عند مستوى معاصر « لعصر الرنة » . وعَرَّفَ آ. كاترفاج -Quatrefages والدكتور هامي Dr. Hamy هذه السلالة المسماة كرو ـ مانيون (صورة 18) : رجال ضخام (أطول من 1,80 م) طويلو الرأس . وتمَّ فيها بعد اكتشاف هياكل عظمية مشابهة بين 1872 و1875 من قبل اميل ريفيير Emile Rivière في مغاور غريمالدي Grimaldi قرب مانتون Menton ؛ ثم أخريات بين 1875 و1900 .

في سنة 1888 ، أبرز فيو وهاردي Féaux et Hardy ـ من مستوى ماغدالي Magdalenien [نسبة الى ملجأ المادلين : الحقبة الماغدالية تمتد من 13 إلى الألف 8 قبل المسيح] في مكمن تحت صخرة ريموندن Raymonden ، في الشانسيلاد Chancelade ، قرب باريغو Périgueux ـ هيكلاً عظمياً ذا قامة صغيرة ، وجد فيه الدكتور تستوت Dr. Testut عناصر قربى مع الهياكل العظمية للاسكيمو .

ودونما اعتبار للاكتشافات غير الأكيدة التي تمت في أواخر القرن التاسع عشر ، عُرفت ثلاث سلالات من الرجال المتحجرين هي : النياندرتال ، وكرو ـ مانيون وشانسيلاد . ويظهر كتاب « موجز الاحاثة البشرية » لـ أ. ت. هامي (E. T. Hamy) (1870) ، وكتاب « الجمجمة العرقية » (Crania ethnica، 1873 -1882) لـ هامي Hamy وآ. دي كاترفاج (A. de Quatrefages) بوضوح التقدم السريع في علم الإناسة لما قبل التاريخ .



صورة 18 ـ إنسان كرومانيون

إكتشاف بيتيكانتروب (Pithécanthrope) [Pithékos : قرد وThrope = انسان] الإنسان القرد :أثارت هذه الاكتشافات المتعددة مناقشات بدون نهاية ، مناقشات أقرب الى الفلسفة منها الى العلم . وتجب الاشارة ، بهذا الشأن ، ان رغبة العقلانيين التي كانت وراء اثبات الأصل الحيواني للانسان ، هي التي تسببت في جوهر الدراسات والبحوث .

وصدرت ثلاثة مؤلفات ، بشكل خاص ، كان لها دوي كبير هي : « سلالة الانسان والانتقاء الجنسي » لشارل داروين Charles Darwin (لندن 1871 ؛ ترجمة فرنسية 1872) ، « تاريخ الخلق » لارنست هايكل (Ernest Haeckel) (برلين 1868 ، ترجمة فرنسية 1874) ، ثم تلاهما كتاب « الأنتروبوجيني أو تاريخ التطور البشري » لنفس المؤلف (ليبزيغ ، 1874 ، ترجمة فرنسية ، 1877) .

عاد هايكل Haeckel الى نظريات لامارك Lamark حول الأصل الحيواني للانسان ، فأكد على وجود وسيط مورفولوجي [من مورفولوجيا = علم التشكل : علم يبحث في شكل الحيوانات والنباتات] شكلي بين القرود العليا والانسان سماه « بيتيكانتروب » [الوسيط بين الانسان والقرد] .

ويجب أن نضيف أنه في سنة 1873 ، في مؤتمر الـ A.F.A.S ، المنعقد في ليون ، نادى ج. مورتيلت G. Mortillet وآبيل هوفيلاك Abel Hovelacque بفرضية الوسيط بين القرد والإنسان . وأعطياها اسم « انتروبوبيتيك » [من Anthropo : إنسان وPithèque : سلف] واسندا إليه الصوان المقصوب ، الذي عثر عليه في الطبقات الثالثية .

ومن جهته ، وضع ر. فيرشو R. Virchow ، كمبدأ وجوب البحث عن الرجال الأولين في جزر السوند (La Sonde) [جزر في أرخبيل أندونيسيا بين سومطرة وجاوة] .

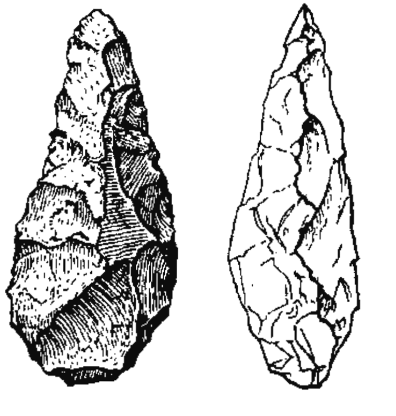
وأثارت هذه المحاضرات حماس طبيب شاب عسكري هولندي ، اسمه أوجين دوبوا Eugène Dubois ، فذهب الى الهند النيرلندية [التابعة لهولندا] عازماً على العثور فيها على « الإنسان القرد » المفترض . وبدأ بسومطرة ، ثم أكمل تنقيباته في جاوة ابتداء من 1890 . وفي سنة 1891 ، عثر أوجين دوبوا في أسفل بركان لاو ـ كوكوسان Lawu-Kukusan ، في ترينيل Trinil على ضفاف نهر سولو ، على طاسة جمجمة وعلى عظم فخذ وعلى سنٍ لكائن وسيط بين الانسان والقرد ، ذي سعة دماغية تقدر بـ 900 سنتم مكعب ، تقع بين سعات القرود ذات الشكل الإنساني ، والإنسان . ونشر دوبوا اكتشافه سنة 1894 ، وأطلق على الكائن الذي اكتشفه اسم « بيتيكنتروبوس اركتوس » «Pithecanthropus erectus» ،واعتبره الجد المباشر للانسان . وكانت هنا فضيحة أخرى تولاها علماء الإحاثة والاناسة ، والفلاسفة والصحفيون . ولم يأت الحل ، أي التفسير الصحيح لـ «البيتيكنتروب » إلا في القرن العشرين .

علم الآثار السابق على التاريخ : العصور الثلاثة : الحجري ، البرونزي ، الحديدي ـ كان علماء الآثار ، في مطلع القرن التاسع عشر ، أمام العديد من الأشياء البرونزية والحديدية والنحاسية أو الحجرية ، من عمر غير محدد . وتمّ وضع التصنيف الثلاثي : الأعصر الحجرية ، والبرونزية والحديدية الذي اتخذ كأساس لما قبل التاريخ ، سنة 1836 من قبل ك. تومسن C. Thomsen ، مدير المتحفين الأثري والعرقي [الأتنوغرافي أي الذي يبحث في خصائص الشعوب] في كوبنهاغ ، من أجل توحيد صف وترتيب المجموعات العامة . وأدت دراسة المدافن القديمة بعالمي الآثار الألمانيين ليش Lisch وداني Danneil الى استنتاجات مماثلة . وبعد ذلك بقليل ، وضع وورسا Worsaae ، خليفة تومسن Thomsen في متحف كوبنهاغ ، تصنيفاً أكمل وأدخل قسمين فرعيين في مجال « الحجر المصقول» وقسمين في العصر البرونزي ، وثلاثة في عصر الحديد .

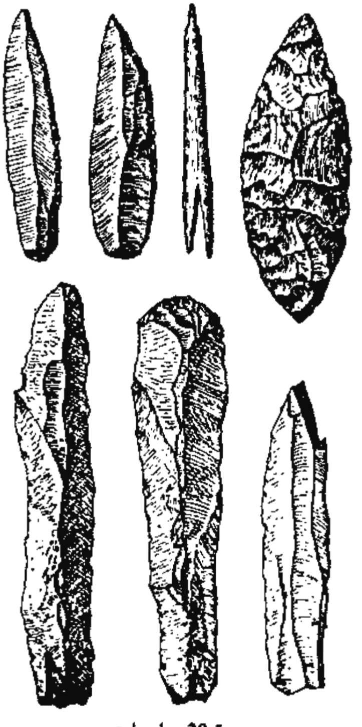
إلا أن فكرة البرونز السابق على الحديد لم تقبل بسهولة . فقد أكد الكولونيل في المدفعية ، الدانمركي تشرننغ Tscherning أنه من المستحيل تصنيع البرونز دون استعمال أدوات الحديد أو الفولاذ . وزعم الألماني ك. هوستمان C. Hostmann بأن الإيمان بالأعصر الثلاثة هو « عار علم الآثار الحديث » ، وكتب مواطنه ك. غوتلر أيضاً سنة 1877 : أن ذلك يعني إضفاء الصفة الدانمركية على ألمانيا

بكاملها « حين نطيق على علم الآثار هذا التصنيف المرتكز على العاديات أو الآثار السكنديناقية ». إلا أن مونتيليوس السويدي Montelius وجون ايفانس J. Evans الانكليزي وج. دي مورتييه G. de Mortillet الفرنسي اعترفوا بصحة أساس هذا التصنيف الأول .

تصنيف الصناعات الحجرية . ـ منذ أن لاحظ العلماء وجود أدوات من الحجر المقصوب تختلف عن الأدوات المصنوعة من الحجر المصقول اقترح علماء الآثار التعبير عن قدمها النسبي بتمييز حقيقتين ذاتي اهميات متنوعة جداً : عصر الحجر المقصوب وعصر الحجر المصقول . وفي كتابه « أزمنة ما قبل التاريخ » (لندن ، 1865 ، ترجمة فرنسية : انسان ما قبل التاريخ ، باريس ، 1866) أدخل جون لوبوك التقسيم الى العصر الحجري القديم (الحجر القديم) وهو يتوافق مع عصر (الحجر المقصوب) ، وعصر الحجر الحديث (أو عصر الحجر الجديد : بداية عصر الحجر المصقول) . في سنة 1869 قدم



صورة 19 ـ مقابض يد شيلية
العصر الحجري



صورة 20 ـ ادوات من
العصر الحجري القديم

غبريال مورتييه G. Mortillet الى أكاديمية العلوم في باريس كتابه « محاولة تصنيف المغاور ، والمحطات تحت الملجأ ، المرتكز على مصنوعات اليد البشرية » وفيه قسم العصر الحجري القديم الى أربعة أزمنة : الشيلية chelléen ، والمستيرية Moustérien والسلوترية Solutréen والمغدلية Magdalenien . ثم

أضاف اليها الاشولية Acheulien (بين الشيلية والمستيرية) (صورة 19 وصورة 20) . كل هذه الأسماء تذكر بالمحطات الفرنسية التي اكتشفت فيها أنماط هذه الأدوات : مسننات Ballastières شيل (السين والمارن) ومحطات سان آشول (منطقة نهر السوم) ، محطة موستيه Moustier (دائرة بيزاك Peyzac ، الدوردوني) ، محطات سوليتري Solutré (الصون واللوار) ومحطات المادلين Madeleine (دائرة تورساك ، دوردونيه) .

في سنة 1887 عثر ادوار بيت في ماس دازيل (آرييج) على طبقة أثرية جديدة بعد المغدلية Magdalenien وتحتوي على عظام ايل وخنزير بري ، وعلى حربات مسطحة من قرون الغزال وعلى مستديرات ملونة بالطلاء الأحمر ؛ فكان العصر الأزيلي، أول مرحلة من طبقة العصر الحجري الأوسط (الميزوليت) أي الوسط بين العصر الحجري القديم والعصر الحجري الحديث. وهناك منجم صفائح من صوانات صغيرة هندسية ،اكتشفت في البرتغال سنة 1865 ، أشار اليها بيريرادا كوستا ، وعثر على مثيلاتها مجدداً في فرنسا سنة 1880 و1887 ، وسميت سنة 1896 من قبل أدريان دي مورتييه تحت اسم « تاردينوازية » Tardenoisien (في منطقة فير آن تاردنوا ، في الأيسن) .

تطور دراسات ما قبل التاريخ . ـ سنة 1864 أسس غبريال دي مورتييه في فرنسا أول مجلة تبحث في علم الحجريات تحت عنوان : « مواد لتاريخ الانسان » . وفي السنة التالية تقرر إقامة مؤتمرات دولية تبحث في علم أصل الانسان وفي الآثار من أزمنة ما قبل التاريخ . وكانت هذه المؤتمرات تعقد سنوياً في بادىء الأمر (عقد أول مؤتمر في نيوشاتل سنة 1866) ، ثم تتالت فيها بعد وفقاً لدورية غير منتظمة نوعاً ما (عقد المؤتمر الثاني عشر في باريس سنة 1900) .

في سنة 1876 فتحت مدرسة علم تاريخ الانسان (انتروبولوجيا) في باريس أبوابها ودشن غ . دي مورتييه تعليم ما قبل التاريخ . ونشر هذا العالم ، في سنة 1881 كتابه « متحف ما قبل التاريخ »، كما نشر في سنة 1883 « كتاب ما قبل التاريخ » وهو كتاب مشهود جمع بصورة تاريخية تسلسلية المستندات المجموعة . وتضمنت الطبعة الثالثة منه التي نشرت سنة 1900 توضيحاً ممتازاً لحالة العلم ما قبل التاريخي في أواخر القرن التاسع عشر . نذكر أيضاً ، في سنة 1890 بدايات « الأنتروبولوجيا أو علم الانسان القديم » وهي مجلة نصف سنوية تنشر ، بذات الوقت دراسات أصيلة، ومراجعة نقدية للمكتشفات ما قبل التاريخية ، في العالم كله .

عصر ما قبل التاريخ والجيولوجيا . ـ من المؤكد أن الطريقة التي تعنى بالتنضيد أو الستراتيغرافيا، وحدها تمكن من تحديد التاريخ النسبي للأحداث ما قبل التاريخية . ولكن المنقبين الأوائل عن المقالع أو المكامن ما قبل التاريخية ـ حتى أكثرهم شهرة ـ اكتفوا بالاستغلال السريع لهذه المخازن أو المواضع ، مبرزين ، بشكل مختلط وعشوائي ، الأدوات والعظام من أزمنة وحقب مختلفة جداً . وكانوا فرحين جداً في إغناء مجموعاتهم بالأدوات الصوانية المقصوبة الجميلة ، الى حد أنهم أهملوا في الغالب العظام المتحجرة التي عثروا عليها .

ويبدو أن ادوار بييت هو الذي أدخل منذ 1871 النهج العلمي في علم ما قبل التاريخ ، يقول : « لقد وضعت جانباً الأشياء المحبوسة في كل طبقة من مطلق مغارة ، مع الاعتناء الدقيق بحيث لا

تختلط بالأشياء المستودعة في مستودعات تحتية متصلة بها ، ولا بالأدوات المستكشفة من طبقات منوعة مترسبة ؛ ثم قارنت فيها بين محتويات المرابض المختلفة واستنتجت من ذلك تقسيمات ، وتقسيمات فرعية طبيعية . وهذه الطريقة هي طريقة الجيولوجيين . وبعدها رتبت الأشياء حسب نظام تراتبها ، فكان تحت عيني صفحة حقيقية من صفحات التاريخ » .

وهذه الطريقة التنضيدية أتاحت توضيح تتابع حقب الزمن القديم في أماكن مختلفة ، إنما بقي توضيح العلاقات والروابط في السلم الأثاري مع السلم الجيولوجي ، في إطار أزمنة الأعصر الرباعية

من المعلوم أن العصر الرابع قد تميز بظهور وبنمو البشرية ، وانه عرف تغييرات كبيرة في المناخ ، وتطوراً فريداً في جبال الجليد ، وقد درس الجيولوجيون الاسكندنافيون والألمان والانكليز ، ووصفوا تمدد الدائرة الجليدية التي كانت تغطي سكندينافيا وألمانيا الشمالية وهولندا ، وشبه غالبية الجزر البريطانية. ومن جهة أخرى بدأ آ. بنك وأ. بروكنر في سنة 1882 و1886 دراساتهما حول الجليديات في جبال الألب وفي ألمانيا وفي سويسرا . وفي سنة 1895 نشر جامس جيكي جدولاً تاريخياً بالمستودعات الجليدية في أوروبا ونشر ت . ش. شمبرلن ترتيباً أو جدولاً تاريخياً لمستودعات اميركا الشمالية .

وعند مناقشة عدد المراحل الجليدية ، وكذلك مسألة الفاصل بين العصر الثالثي والعصر الرابعي ، كان من المقبول امكان قسمة العصر الرابعي سنداً لهذه المراحل . ولكن الأصداف المتحجرة التي عثر عليها « في شواطىء مرتفعة » رفعت الى 15 و30 و60 و100 م فوق السطح الحالي للمحيطات ، تتيح أيضاً قسمة العصر الرابع الى ثلاث أو أربع طبقات . وأخيراً ، بين المراسب الجليدية ،من الوديان المرتفعة والسُطيحات البحرية ، تم اكتشاف « سطيحات نهرية » على طول الوديان ، وجرت محاولات موفقة نوعاً ما من أجل الربط بين هذه العناصر المتنافرة ، ونظمها ضمن نهج متماسك (ولو ظاهرياً على الأقل) .

وفي سنة 1889 نشر مارسلين بول بحثاً كان له وقع . في هذه « المحاولة حول علم المتحجرات التنضيدية حول الانسان» عرض ما عثر عليه . «قبضة يد » من العصر الحجري القديم وضعت في مستوى وسيط بين مرسبين جليديين ، كما اقترح جدولاً بموضع الصناعات الأثرية بالنسبة الى عمليات التجلد ، وبالنسبة الى توزيع الحيوانات الثديية . ولم يكن لهذا الجدول أي صورة نهائية ولكنه بدا كأول تركيب صالح ، يدمج معطيات ما قبل التاريخ في إطارها الجيولوجي .

اكتشاف المحفورات والملونات والمنحوتات السابقة على التاريخ . ـ إن أول اكتشاف للفن السابق على التاريخ يعود لسنة 1833 . ويتعلق بعصا من قرن الرنة مزينة بمحفور طائر ، وعثر على العصا الجنيفي فرنسوامايور في موقع فيرييه(Veyrier) (هوت سافوا) ثم تلا تلك الاكتشافات الشهيرة التي قام بها برويه (Brouillet) في مغارة شافو سنة 1834 واكتشافات ا. لارتيه في المادلين سنة 1864 ، واكتشافات كريستي وبيت وغيرهم الكثير الذين عثروا على أشياء كثيرة كان بعضها مزيناً برسومات هندسية في حين صورت أخريات منها قسماً لا بأس به من الحيوانات المعاصرة. منذ محفورة رنّة كيسرلوخ عند « تنجن سويسرا » حتى الخيول المنحوتة التي اكتشفها بيت في ماس دازيل . وأكثر من ذلك تم اكتشاف تماثيل صغيرة تمثل نساءً في مغاور غريمالدي (1883 - 1895) وفي مغارة براسمبو

(لاندس ، 1892 -1897) . ورغم الشك حول أقدمية هذه التمثيلات قدم س . ريناخ تمثالاً منها إلى متحف سان جرمان ، ونشر صورها (1898) .

وحصلت اكتشافات غير متوقعة أيضاً في مغاور عميقة حيث تم التعارف على حيوانات ملونة أو محفورة على الجدران وعلى القبب . في إسبانيا أولاً حيث شاهد دون مارسلينو سوتولا ، سنة 1879 ، حيوانات ملونة ومرسومة على قبة مغارة التاميرا (مقاطعة سانتاندير) (Santander) ونشر اكتشافه في السنة التالية مع 25 صورة متعددة الألوان :
«ملاحظات حول بعض الأشياء قبل التاريخية في مقاطعة سانتانديرہ، 1880 » ولكن هذا المستند الرائع رفض للشك فيه . وكذلك كان الأمر بالنسبة الى محفورات مغارة شابوت (فار) التي ذكرها شيرون سنة 1879 . وفي سنة 1895 لاحظ أ. ريفيار بدوره رسوماً محفورة على جدران غار لاموت (دوردونيه) في حين نشر دالو سنة 1897 محفورات غار بيرنونبير (الجيروند) .

ان حقانية هذه الرنات والبيسونات والماموث والخيول الخ المرسومة بالألوان أو المحفورة ، قد تم الاعتراف بها عندما لوحظ أن أقدميتها ثابتة ، أما بفعل المراسب القديمة التي أخفت قسمها الأسفل وأما بفضل الطبقة الخفيفة من الترسبات المتحجرة التي تغطيها عند القبة وعلى الجدران . وأعطت هذه الاكتشافات أول رؤية حول أصول الفن ، وأعطت بذات الوقت معلومات ثمينة حول الحيوانات المعاصرة للفنانين السابقين على التاريخ .

وأنه في القرن العشرين فقط تم بصورة كاملة تقييم هذه المعطيات المتنوعة الجيولوجيا والاحاثية والحفرية والفنية ،تقييماً حقاً مما أتاح فهمَ أصل البشرية وتطورها .

الكتاب الثالث

العلوم الطبية

كـان القرن التـاسع عشر الـطبي عصـر بحوث واكتشـافات علميـة ، وقاوم الـرتابـة والفكر النظامي . وهنـاك عبارة لروايه كولار (Royer-Collard) (1818) تختصر هذه التيارات : « الحقائق كلها هي المطلوبة ؛ الأخطاء كلها مرفوضة ؛ وكل النقاط الغامضـة تمت الاشـارة اليها » .

I ـ حقبة البُناة

إن اللحظة التي حصل فيها فوركروا Fourcroy من حكومة « الكونفانسيون » في الخريف من السنة الثالثة [للثورة الفرنسـية] (28 تشرين الثاني و4 كانون الأول 1794) على إنشـاء المـدارس المركزية في باريس ومونبليه وستراسبورغ ، التي سبق وتقررت في 18 آب 1792 ، نعتبر بـداية القـرن التاسع عشر . فقد أسرعوا يومئذٍ الى اختيار المعلمـين الذين سـوف يعلمون الشبيبـة المجدة والكبـار المقبلين على الدراسـات الطبية . إن الاندفاع الغريب لهؤلاء القادمين الجدد تسبب في إنشاء « الجمعية الطبية التنافسية » التي افتتحت سلسـلة التجمعات الناشـطة في محبة العلم والفن التي أسـسهـا بيشـات (Bichat) ولاري Larrey وآليبرت (Alibert) (المرعوي ، السنة الرابعة). « وأصبحت العلوم المسـماة تابعة أساسية ، وتغلب الطب عليها » كما قال بيشـات ، والجمعية « سارت بدون تغيير على خط التجربة والملاحظة » .

1 ـ زعماء السرب أو الركب

كاباتيس Cabanis . ـ كان ب.ج. ج. كابـانيس (P. J.- G. Cabanis) (1757-1808) المنافس الأكـثر تمثيلاً . وقـد أراد القضاء عـلى المناهـج أو المذاهـب (Les systèmes) المغـرية [الغشـاشة] في الـظاهر والتي تقـود ، لا محالـة ، الى الكوارث . كـان طبـياً اجتمـاعيـاً ، فحـاول أن يحصـل ، في المستشفى ، إضـافة الى الـطبابـة حتـماً ، عـلى الغـذاء الكـافي ـ وللمـرضى بعـد شفـائهم أو تحسنهم وخروجهم ، على العمل أو المساعدة .

بيشات (Bichat) ـ مع غزافيه بيشات (Xavier Bichat) (1771 -1802) برز مظهر آخر للانسان الجديد .

كتبت الآنسة جنتي Mlle Genty : كل بلاد أوروبا ، كان عندها ، حتى ذلك الحين مشرحون وفيزيولوجيون (علماء بوظائف الأعضاء) وأطباء مشهورون ؛ وقد اختُصَّ فرنسي بأن يُبدع علماً جديداً هو « التشريح العام » وبأن يؤسس العيادة على أسسٍ بيولوجية .

وقد ميَّز في كتابه « التشريح العام المطبق على الفيزيولوجيا (علم وظائف الأعضاء) وعلى الطب » الذي صدر سنة 1801 ، بين واحدٍ وعشرين صنفاً من الأنسجة (راجع ، أيضاً ، حول هذا الموضوع دارسة م . كولْري (M . Caullery) وج . ف . لروا (J . F . Leroy) القسم V ، الكتاب I ، الفصل I :

« الخلوي ، العصبي في الحياة العضوية ، والشرياني ، والوريدي ، والزافر ، والممتص وغددهما ، والعظمي ، والنخاعي ، والغضروفي ، والليفي ، والليفي الغضروفي ، والعضلي في الحياة الحيوانية ، والعضلي في الحياة العضوية ، والمخاطي ، والمصلي ، والمفصلي من الغدد ، والغـدّدي ، والجلدي ، والبِشْري والشَعْري » .

والكتابان غير المكتملين « التشريح الوصفي ، والتشريح النطاسي » لم يكونا مجهولين لا من دوبويترين (Dupuytren) ولا من لاينك (Laennec) ؛وفي كتابه « بحوث فيزيولوجية حول الحياة والموت » (1790، 1800، 1805، 1855) يواجه الحياة العضوية بالحياة الحيوانية .

بينل (Pinel) . ـ اجتذب فيليب بينل (1745 -1826) الانتباه بالاصلاح الذي أدخله على نظام المعتوهين ، وبكتبه الاصلاحية الطليعية . في سنة 1793 ، في مستشفى بيستر Bicêtre ، ألغى بينل « العرف الغوطي المتعلق بسلاسل الحديد . . وهو الاختراع المدهش لتأبيد هياج المحسوسين في حالة اعتقالهم » ، وحقق نفس الاصلاح في السالبتريير Salpêtrière ، بنجاح كامل . وكتابه « وصف الأمراض الفلسفي » (1798) يلخص كل الفلسفة المعاصرة ، مع الملاحظات المجموعة أثناء عمله من قبل تلاميذه ، والمشروحة من قبل المعلم ، والمتكملة من قبل « المواطن اسكيرول » (Esquirol) . وهو يستبعد المعارف الغامضة ويؤسس كل طب صحيح على الملاحظة ، ويفيد المرضى من كل التقدم الذي حققته العلوم التابعة . وقد استلهم لوك Locke وكونديـاك Condillac ، ودالمبر «d'Alembert» ،وبوفون Buffon، وزيمرمان Zimmermann ، وفضل الشك الديكارتي على الفكر الدوغماتيكي (العقيدي) ؛ وهكذا إذا لم يكن قد أدى الا خدمة واحدة ، فهي ادخال خميرة الشك في الأدمغة الطبية [لكان ذلك كافياً] . وأخذ عليه كابانيس Cabanis وكورفيسار Corvisart أنه استلهم من التصنيف النباتي لكي يجمع ويصنف الأمراض . وفيما بعد تمَّ الاعتراف بأن كل تصنيف للأمراض يحتمل التمويه ، وتصنيف بينل يحتفظ بميزة أنه كان أول محاولة تؤدي الى « التشخيص الايجابي والتفاضلي » الذي هو من ابتداع القرن التاسع عشر .

لا شك أن التمييز في « وصف الأمراض الفلسفي » ـ بين علم الأعصاب وعلم « طب الأمراض النفسية » غير واضح : ان السكتة الدماغية تجاور فيه الكآبة ؛ ولكن « الوسيط الطبي الفلسفي ، حول المس العقلي » (1801) يقوم على مستوىً أعلى . ومنذ بداية هذا الكتاب ، ينبه القارىء : « من غير

المجدي ، الولوج الى هنا ، ان لم يكن الداخل مزوداً بحكم صائب وبرغبة حادة في التعلم » . وهو يرفض كل مناقشة ميتافيزيقية ، « وكل ما هو سائد في المجتمع حول الهذيان ، والهوس ، والزيغان والجنون » . وقد عرف ببعض الكلمات الأنواع الأربعة من الأمراض العقلية التي ميزها :

« إن الهذيان ، المنصب تقريباً على كل الأشياء يقترن ، لدى الكثير من المسوسين ، بحالة اضطراب وغضب : مما يشكل حالة الهوس بالذات ؛ والهذيان قد يكون محصوراً ومقصوراً على سلسلة خاصة من الأشياءومقروناً بنوع من الانشداه ، وبانفعالات حادة وعميقة : وهذا ما يسمى بالكآبة . وفي بعض الأحيان يصيب الذهول الوظائف العقلية والعاطفية ، كما هو الحال في الشيخوخة ، فيتشكل ما يسمى بالعته . وأخيراً ان تعطيل العقل ، المقرون بلحظات سريعة وأوتوماتيكية من الغضب ، يسمى باسم البلاهة » .

بايل (Bayle) ـ ان بينل Pinel بالتأكيد هو الذي قصده غاسبار ـ لورانت بايل (Gaspard-Laurent Bayle) (1774 -1816) عندما عنّف الأطباء الذين لا يقولون بتشخيص السل الرئوي عندما يكون المريض غير نحيل ولا محموم ، وقد مثل بايل ، لأول مرة ، الميل الى البحث عن السل الرئوي في مظاهره الأساسية . كتب يقول « إن هذا الأسلوب في النظر الى السل الرئوي ، سخيف كسخافة العالم الطبيعي الذي يرفض ، وهو يرى سنديانة فتية ، إعطاءها هذا الاسم ، لأنها لم تظهر بعد كل سماتها العامة والذاتية » .

وكان بايل أول من تفحص المرضى بالتسمع ، وإذا لم يبْنِ شيئاً على التنصت ، فإنه ، على الأقل قد سلّم الى لورانس هذا الأسلوب في الاستكشاف . وكذلك أطلق « العددية » (numerisme) [عددية لويس Louis] عندما أصدر هذه الملحوظة : « يمكن التوصل إلى تمييز النوع ، عندما نهتم أقل بكثرة وبخطورة الدلائل ، وأكثر بثباتها واستمراريتها » ونشر « ملحوظات حول التدرنات » (1801) و« بحوث حول السل الرئوي » (1810 ، 1812) ، و« أداء نظرية وعملية حول السرطان » ووصف الوذمات [استسقاء موضعي] في الزردمة [فم الحنجرة] ، والتحجب الدخني [التهاب جلدي حكاك] ، ثم تصدى ، بعد أونبروغر (Auenbrugger) وكورفيسار ، (Corvisart) ، لسرطان الرئة .

آليبرت وطبابة الجلد ـ (Alibert) ـ نشر جان آليبرت (1768 -1837) الذي أسس تعليم طبابة الجلد ، كتابه « وصف أمراض الجلد » من سنة 1806 حتى سنة 1814 . واستقبل استقبالاً حسناً ، ولكن مغص الأمراض الجلدية الذي وضعه انتقد بحق ، لأنه لم ينظر الى الأمراض إلا من ظاهرها ، دون أن يأخذ بالحسبان آلام المريض ، والاضطراب الذي تتحمله الأعضاء .

كورفيسار (Corvisart) ـ ان ما قدمه جان نيقولا كورفيسار (1755 -1821) للحركة الطبية المعاصرة مثلث الأوجه : تربية الحواس ، ادخال وتوسيع القرع (النقر) ، معلومات جديدة حول أمراض القلب . وحين نادى بالأولى ، أضاف الى دراسة الأعراض ، تطلّب العلامات ، وهي الأهداف الوحيدة التي تجعل الملاحظة فوق الطعن ، والنقر اشتقاق منها ، وهذه الطريقة قد وصفت ، سنة 1763 ، من قبل الطبيب الفيني [نسبة الى فيّنا عاصمة النمسا] أونبروغر (Auenbrugger)

(1722 -1809) في مقالة ، لم تلفت في النمسا الا انتباه فان سويتن Van Swieten وستول Stoll . وعرفها كورفيسار من خلال الترجمة الرديئة الفرنسية التي نشرت سنة 1770 من قبل روزيير دي لا شاسانيه .R) (de la Chassagne . وقدر قيمة الطريقة حق قدرها ، فطبقها ، وتثبت منها ووسع حقل عملها .

شبَّه أونبر وغر تسرب السائل بالبرميل الذي يصبح صوته ، عند النقر ، باهتاً كلما امتلأ . وقدم كورفيسار المعلومات حول الصوت ، في حالة البرسام [التهاب بالغشاء الجنبي] وانه قلما يتغير إلا نادراً في الأيام الأولى ، وان [الطبيب] يلاحظ الخروج على القاعدة عندما يغير في وضع المريض ؛ وانه في التهاب الرئة ، يكون التغير أسرع ، وانه في حالة الربو العصبي ، يرن الصدر جيداً حتى في أعنف حالات الأزمة .

وجهد كورفيسار Corvisart، في تتبع الأمراض بواسطة النقر المباشر الذي طبقه على دراسة أمراض القلب . وبعد ذلك أخذت البدائل تتابع : نقر مباشر بواسطة قطعة صغيرة مدورة من العاج ، أو بالأسلوب الأبسط والأدوم ، عن طريق الاصبع بالذات . وكان نشر كتاب كورفيسار الثاني « محاولة حول الأمراض والاصابات العضوية في القلب » (1806) حدثاً عظيماً أيضاً . وقد لاحظ كورفيسار تأثير الأسباب الاجتماعية والأخلاقية . فزعم أن الاصابات العضوية في القلب كانت « أكثر وقوعاً في الأزمنة الصعبة من الثورة الفرنسية ، مما كانت عليه في الهدوء العادي واستتباب النظام الاجتماعي » ، في هذا الكتاب المقسوم الى خمس طبقات من الأمراض كشف السباق في علم أمراض القلب عن نفسه ؛ تمدد التجويفات اليمنى يترجم بانتظام النبض ، نفث الدم ، الصورة البنفسجية شبه السوداء ؛ وتمدد الأذين الأيسر يتطابق مع ضيق الصمام التاجي أو القلنسي ؛ والمرض الأزرق مرتبط بتشوهٍ قلبي ، وانكسار القلب يحدث خفقاناً مع تخدر في الذراع الأيسر ، ووهناً واصفراراً بالغاً الخ .

شومل Chomel وعلم الأعراض (دلالات الأمراض) .ـ تشكل الباتولوجيا [علم الأعراض] العامة لدى شومل (1788 -1858) أول محاولة لرفع هذا الفرع من العلم الطبي فوق الفروع الأخرى (1817) . من أعلى أنها تهيمن على كل الأمراض ضمن إطار واحد ، كما يقول شومل « حيث نرى نقاط الاتصال بين هذه الأمراض ، ونرى الروابط التي تجمعها » . عن علم الأعراض هذا ، المرسوم في هذا الكتاب ، حاول لاندري ـ بوفي Landré-Beauvais (1808) ، ودوبل (Double) (1811 حتى 1822) أن يقدما تعريفات واضحة ، دون إدراك ذلك . وقد حاولا طويلاً البحث عن كيفية تعريف الأعراض (ظاهرات ذاتية شخصية في المرضى) والعلامات (ظاهرات موضوعية) ، وكان للدوبل الفضل في الفكرة الموفقة وهي تذكر رأي زيمرمان Zimmermann؛ «يجب أن تقع الاعراض Symptômes تحت الحواس ؛ ان المرض لا يكشف عن نفسه بالتحليل العقلي ؛ وكذلك يمكن تماما التعرف على كل أعراض مرضٍ ما ، دون أن تتكون لدينا أية فكرة عن العلامات التي تنتج عنه » . ان المريض يُشاهَدُ واقفاً ، يمشي ، أو يستريح ، منبطحاً أو جالساً ، في حالة اليقظة أو النوم . وتلحظ تلونات الجلد المختلفة ؛ ويتم جس النبض بشكل مهيب ؛ فيعرف تسارعه ، أو تباطؤه ، قصره أو ندرته أو ضعفه ، أو قرعهُ . إن قياس الحرارة ليس ضرورياً ؛ وحالة الحمى لا تعرف الا باللمس ، ومن إحساسات المريض . في سنة 1817 ذكر دوبل طريقة جديدة مفادها « وضع الأذن تماماً فوق القلب » ، ورأى أن الأطباء « يستمدون من ذلك المعلومات الأكثر إفادة » .

لاينك Laennec والتسمع . ـ وجاء بعد دويل بقليل تيوفيل لاينك (Théophile Laennec) (1781 - 1826) الذي نشر سنة 1819 كتابه «التسمع غير المباشر» (Auscultation médiate) . والطريقة تنبيء عن الحركة التنفسية وعن خفقان القلب . ولكي لا يضع أذنه على صدر المريض اخترع لاينك المسماع كوسيط . وهكذا نشأ الاستماع غير المباشر الذي يتعارض مع الاستماع المباشر الذي ألمّ كثير من المعاصرين في ممارسته . وهكذا انصرف الى دراسة طويلة للضجة التنفسية واضطراباتها . واستلبه موضوعه ، فتجاهل فائدة الخفقان ، وربنود Reynaud (1829) هو الذي لحظ تدني أو زوال الخفقان الصدري في حال ذات الجنب . وخُصِصَ القسم الثاني من كتاب لاينك لدراسة أمراض الرئة والقلب . وركز فيه على السل فاعتقده أنه غير معدٍ رغم أنه قد راح ضحيته . وقوبل اكتشاف الاستماع بقبول حسن ، مع بعض التحفظات ، من قبل برنتز Berentz (في برلين) وناس (Nasse) في بون ، وسوميرن (Soemmering) في فرانكفورت ، ودونكان Duncan (في أدنبره) وسكودا Skoda (في فينا) ، الذي بقي كتابه « كتاب النقر والتنصت أو الاستماع » (فينا 1839) (ترجمة فرنسية 1854) كلاسيكياً . وترجم مؤلف لاينك الى الانكليزية من قبل ج . فوربس J. Forbes (1834) . وفي فرنسا ، كان برتن Bertin وبويار Bouillard ، ولويس Louis ولرمينيه Lerminier واندرال Andral ، من بين الأوائل الذين اعتمدوا الاستماع ، ولم يوفر اندرال وفورنت Fournet لاينك من الانتقادات . وعكف فورنت (1839) بشكل خاص ، على البحث عن خصائص السل الرئوي في بداياته ، فافتتح دراسة مسماعية سوف تدوم مئة سنة . واعترف بات Bath وروجر Roger (1841) « أن المسماع مضلل في أغلب الأحيان » . ولكن لوجيمو دي كرغارادك Lejumeau de Kergaradec اقتصر ، سنة 1822 على تتبع أصوات الجنين عبر الغشاء البطني ، وقد تمّ التنبه لها منذ 1818 من قبل مايور Mayor ، في جنيف ، ثم نشر ، سنة 1822 ، أول دراسة عن الخدمات التي يؤديها الاستماع الى قلب الجنين أثناء الحمل .

نظام بروسي (Broussais) . ـ ان مطلق محاولة لكتابة تاريخ الطب لا يمكنها أن تغفل ذكر بروسي العقائدي (1772-1838) . كتب عنه بوشيت Bouchut سنة 1873 « اذا كان في نظامه فكرة صحيحة فسرعان ما تشوه طبيعتها ، عند هذه النقطة ، وتسوء بفعل مبالغة المعلم وتلامذته بحيث تصبح منكورة ». يقول بروسي ان كل حمى تأتي من التهاب المعدة ؛ والاستطباب الذي يقترحه ، مع بعض التحفظات ، يقوم فقط على ثلاث تعليمات : الحمية ، المسهلات ، وتعليق العلق ؛ وقد تسبب بالعديد من الكوارث . ولحسن الحظ أثارت نظرياته ردات فعل حادة من قبل المفكرين الأحرار ؛ ولكنها لاقت محبذين دافعوا عنها بعناد .

ايتارد Itard وبريتونو Bretonneau . ـ كان فضل غاسبار ايتار Gaspard Itard (1774-1838) مثلثاً : فقد وصف الاسترواح الصدري (Pneumotorax) التلقائي (1804) ؛ وأمنت له مراقبة خصي شاب ابوة « علم الغدد الصمّاء» (1799-1800) ، ثم ان كتابه « حول أمراض الأذن والسمع » (1821) هو الأول من نوعه .

أما بيار بريتونو (Pierre Bretonneau) (1778 -1862) الذي كان فكره يصحح باستمرار الفرضية ، فقد مارس وعمل أكثر مما نشر وأذاع . فأثناء وباء الخناق ، تعرف على خصائص مرض

« الخناق ذي الأغشية المموهة ، فصنفه تحت اسم الدفتيريا أو الذباح (1826) ؛ وجمع حالات من الحمى المتطورة الى عدة أشكال ، مع وجود اضطرابات معوية تحت اسم (dothiénentérite) « دوتيوتنتيريت» وعزاها الى أثر عامل ذاتي . هذا المرض الذي أطلق عليه لويس اسم « الحمى التيفوئيد » قد أشهره تروسو Trousseau سنة 1826 .

لويس والعددية numérisme ـ مع بيار ش . آ.لويس (Pierre-Ch - A.Louis) (1787-1872) بدأ الطب المسمى طب الملاحظة والمراقبة والمرتكز على الطريقة العددية . وكتابه « بحوث حول السل الرئوي » (1825، 1843) يتضمن خمسين حالة عيادية ، وتشريحية استطبابية ، معروضة وفقاً لتعميم موحد . وإذا كان لاينك قد اهتم بشكل خاص باتساع الاصابات ، فقد اهتم لويس بانتشارها . في كتابه « بحوث حول حمى التيفوئيد » (1829) ، ذكر كل المؤشرات ، ومن مجملها يستكشف المرض . إن هذه الطريقة تبعد كل من يطبقها عن التأكيدات غير المراقبة ، وهي تتعارض باطلاق مع أفكار بروسي Broussais ، التي حاربها لويس بضراوة وصواب في « بحوث حول الفصد » (1828) و« فحص فحص م . بروسي » (1834) . وكان تأثيره بالغاً الى درجة حملت ثلاثة طلاب جنيفيين على أن يؤسسوا في باريس « الجمعية الطبية للرصد والمراقبة » (1832) ، حتى يواجهوا تلامذة المعلم مع خصوم منفعلين لا يقبلون ـ كما يقول و. س . جيفول W.S. Jevole (ذكره ر. هـ . شريوك (R.H. Shryock) «بأن تكون الدقة العددية روح العلم بالذات » .

اندرال Andral وكروفيلييه Cruveilhier ـ زود غبريال اندرال (1797 -1876) العلوم بـ « موجز تشريحي استطبابي » (1829) وبـ « بحث في استطباب الدم » (1843) وبأربعة مجلدات حول « العيادة الطبية » (بالإشتراك مع لرمينيه Lermeinier 1823-1827) . وفي « أطلس التشريح الاستطبابي ، المنشور سنة 1822 ، يميز جان كروفيلييه (1791 -1874) تماماً بين قرحة المعدة والسرطان ، ولكنه كتلميذ لبروسي ، فإنه يعالج حتى بصق الدم بالعلق . ومساهمته في دراسة التهاب الوريد ، والكبد الحبيبة ، وانقطاع القلب ، والنقطة الدماغية ، والأكال الرئوي ، بقيت مشهورة .

ريشار برايت وأمراض الكلى (Richard Bright) ـ إن إنجاز ريشار برايت (1789-1858) المبني في « غيس هوسبيتال » في لندن ، قد ربط اسمه في مجموع الحوادث المرتبطة بالأمراض المزمنة للكلى ، إن مذكرته العائدة لسنة 1827 تضم البول الزلالي والاستسقاء ، والاصابات الكلوية ؛ وهذه الاصابات بحثت من مختلف الأوجه . ولما كان « يساوي بين المرض والخلل » (لاسيغ (Lasègue) ، فقد عرف ، مع تلميذه كريستيزون Christison تراكم البولة في دم المرضى بمرض برايت [التهاب الكلى] . أما تقديمه الشخصي فيقوم على المراقبة الميكروسكوبية للبول ، وعلى وصف الكلية المتحركة والتهاب الكلية [مرض برايت] بعد الحمى القرمزية .

غريزول ،ر-ج غرافس وتأثيرهما (Grisolle, R-J. Graves) ـ إن تأثير بعض الرجال يعود الى الكتب المهمة التي نشروها . من ذلك أن آ. غريزول A. Grisolle (1811-1869) عُرف من خلال كتابه « معالجة ذات الرئة » (1841) و« معالجة اولية للاستطباب الداخلي » (1844) التي طبعت عدة طبعات ، أما روبرت جامس غرافس (Robert-James Graves) (1796-1853) من دوبلن والذي ندين

له بوصف رائع للغدة الدرقية الجاحظة (1835) فقد كان أعظم ممثل للطب الايرلندي ، في القرن التاسع عشر ، وقد عمل على تطوير واحياء التعليم الطبي في دوبلن ، ونشر « نظام الطب العيادي » (1843) ، و« محاضرات عيادية حول ممارسة الطب » (1848) الذي كان له تأثير ضخم ، في فرنسا بشكل خاص ، حيث قدر بريتونو Bretonneau وتروسو Trousseau وشاركوت Charcot عمل غرافس حق قدره .

2 ـ تطور العلم الطبي

قياس الحرارة العيادي ـ بعد بحوث آ. دي هاين (A. de Haen) في فينا سنة 1759 أهمل قياس الحرارة العيادي . والرقميون أنفسهم لم « يأخذوا » الحرارة إلا بواسطة اليد التي تلمس الجلد . وبدأت ردة الفعل ضد هذا الاهمال مع اندرال ، الذي درَّس في خدمته في المستشفى ، درجة حرارة المرضى . وأول عمل انبثق عن هذا البحث (1839) دار حول ست حالات من الحمى المتقطعة (مع غافارت (Gavaret)) .

الجراحة .ـ كتب ب لوسين (P. Lecène) : « لم تختلف الجراحة حتى سنة 1850 إلا بالتفاصيل عن الجراحة التي كانت متقدمة جداً في أواخر القرن الثامن عشر » . وفي دوبويترن ، حيث أعجب به معاصروه ، لم ير لوسين Lecène الا جراحاً راغباً في إعطاء فنه قاعدة تشريحية استطابية . ان علم أمراض النساء قد تطور بفضل تأثير ريكاميه (Récamier) (1774 -1852) لو لم تضطر خيبات الأمل الكثيرة الجراحين الى العدول عن رأيهم . وكان دومينيك لاري Dominique Larrey (1776 - 1852) ، مبتكر المستوصفات النقالة ، وبرسي Percy (1754 -1825) يتنافسان في إظهار البراعة في ساحات الحرب . وابتكرت تقنيات جديدة : بتر المفاصل جزئياً في الرجل (ليزفرانك) (Lisfranc) 1814 ، تصليح الأرجل المشوهة (دلبش Delpech 1816) ، تقطيب غشاء الغلصمة والعجان [الفاصل بين الذكر والشرج] (لمبرت ، Lambert 1826) وعملية تفتيت الحصاة في المثانة (سيفيال Civiale 1830) ، والشرج الاصطناعي (أموسات Amussat 1835) . في سنة 1835 ، بيّن ارآن (Aran) ان شجٌ القبة الجمجمية ينتقل عادة الى قاعدتها .

في انكلترا لمع اسم آستلي كوبر Astley Cooper (1768-1841) الذي عالج الفتوق ، ونجح في تقطيب الشرايين الكبرى : في أميركا استخرج أ. مكدويل (E. McDowell) ، سنة 1809 كيساً دملياً من المبيض ؛ في ألمانيا ، اشمل سترومير Stromeyer ثم ديفنباخ Dieffenbach شق الوتر حَوْلَ العين وأشاعا الطريقة في أوروبا . وحاز كتاب جراحة المفاصل الذي وضعه سيرجامس برودي Sir James Brodie (1818) وكتاب الكسور الخُلوع الذي وضعه مالغينيه (Malgaigne) (1847) شهرة واسعة .

التبنيج العام .ـ بدأ التبنيج العام بالصاق « البروتو اوكسيد الأزوت» على قلع الاسنان من قبل هوراس ولز Horace Wells الذي جعلته نهاية مميتة حذراً الى درجة الامتناع ؛ ولكن الفكرة كانت جيلة جداً فلا يمكن إلا أن يستعيدها أحد ما . وحصل و. ت. ج. مورتون (W.T.G. Morton) ، بنصيحة من جاكسون ، على نجاحات حين استعمل بدلاً من الغاز المضحك ، الأثير الكلوريدريك ، ثم الأثير السولفوري الذي استعمله لونغ Long سنة 1842 وأدّى عمله إلى لصقة الجراح وارن Warren الذي تعود أولى محاولاته الى سنة 1846 . وبعد ذلك بعدة أشهر، في انكلترا، استعمل

ليستون الأثيرَ للتخدير عند إجراء بتر الفخذ ؛ وفي سنة 1847 استعمله سمبسون (Simpson) في عمليات الولادة ؛ وفي باريس ، كان جوبرت دي لامبال Jobert de Lamballe أول من استعمله ، وفي روسيا كان الأول بيروغوف (Pirogov) . وأثار الكلورفورم الذي اكتشفه ، بشكل مستقل ، كل من الفرنسي سوبيران (1831) ، والألماني ليبيغ (Liebig) (1832) والأميركي س. غوثري (S. Guthrie) (1832) ، الخلاف بين الجراحين الذين كانوا من أنصار الأثير الى أن قام سمبسون بتجربته في انكلترا ، ومالغينيه (Malgaigne) في فرنسا . قال ج. روشار (J. Rochard) « لقد قضى التخدير [التبنيج] على الجراحة المشعوذة ، وكان هناك جراحون قدماء لم يمتنعوا عنها » .

إصابات عدوى النفاس . ـ وقام صراع شديد جداً من أجل إزالة هذه الجراحة ، وقاد الحملة ، في النمسا سملويس Semmelweis (1818 -1865) بصلابة حطمت قواه ، وفي أميركا أوليفروندل هولمز Oliver Wendell Holmes (1809 -1894) الذي شاهد انتصار أفكاره .

الأمراض الزهرية . ـ في سنة 1838 ، انتصر فيليب ريكورد Philippe Ricord لهرنانـدز (Hernandez) الذي أكد (1810) أن التعقية تحدث دائماً تعقية لا قرحة ، وعارض ولاس Wallace الذي اعتقد أنه وضع أسس عدوى عوارض السفلس الثانوية ، ومنذ 1811 قال لانيو Lagneau بأن الجنين يصاب بالعدوى من أمه المصابة بالسفلس ؛ في سنة 1837 أورد كولس Colles ، في لندن هذه الملاحظة : «لم أسمع أبداً أحداً يقول أن ولداً وارثاً للسفلس قد تسبب بتقرح نهد أمه » ؛ وفي سنة 1840 عبّر بومس Baumès عن نفس هذه الفكرة التي سماها ديداي Diday (1854) « قانون كولس ـ بومس » (Colles-Baumès) .

التلقيح والأمراض المعدية . ـ منذ 1800 أصبح التلقيح ضد الجدري موحوداً في فرنسا بفضل الدوق لاروشفوكو ـ ليانكور ثم تسرب الى باقي أوروبا وفي سنة 1804 أوحى بروست أن الحميات الاختلاجية هي ذات علاقة بالأمراض التي تصيب الأغشية المخاطية في الأمعاء . ويمكن اعتبار بيتي وسرس (كتاب في حمى الأغشية المعوية أو حمى المساريق) كطليعيين سابقين لبريتونو ولويس ، لو أنهما لم يعتقدا أنهما اكتشفا مرضاً جديداً بدلاً من قيامهما بتفسير أمراض مجهولة كانت تختفي تحت أسماء لا نهاية لها . في سنة 1825 ، حدد جيوفاني رومي مكان فيروس الكلب في الأنسجة العصبية . وفي سنة 1834 حارب مايوت حمى الملاريا في الجزائر بسلفات الكينا فانخفض معدل الوفيات من 23 % الى 3% وبنفس السنة كتب جان هامو في « دراسات حول الفيروسات »ما يلي: « يجب أن يكون للأمراض مبدأ حياتي لأنها تتصرف وتعمل كحشرات طفيلية » (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة م. كوليري Caullery القسم V ، الكتاب I ، الفصل IV) .

علم الأعصاب أو النيرولوجيا . ـ في جنيف وصف ج. فيوسو ، أثناء وجود وباءٍ (1805)، التهابَ السحايا الدماغية الشوكية ، وأثناء تابع الملاحظات وتثبيت سمات المرض ، كان يتتبع الوباء من مدينة الى مدينة مع تنقل الفرقة العسكرية (ش. بروسي ، 1844) . وفي سنة 1810 قال بوتاي بوجود قربى بين رقص سيدنهام والروماتيزم المفصلية الحادة . واستناداً الى سلاسل رقمية نجح بويو Bouillaud في استخلاص قوانين تطابق الاشتراكات القلبية الناتجة عن الروماتيزم المفصلية الحادة (1832 -1835) .

في سنة 1817 ، عزل باركنسون Parkinson ، في لندن ، الشلل الارتجافي . في سنة 1819 عكف سرس على دراسة النزيف في السحايا ، وفي سنة 1824 تنبأ الصرع الجزئي . ودرس روشو من سنة 1813 الى سنة 1833 الانسداد الدماغي الضارب فجأة والمقرون بالغيبوبة . وردّ روستان الى الميوعة في الدماغ ، الشلل البطيء البداية والذي يتفاعل نحو الغيبوبة النهائية (1819) . وفي سنة 1822 بين بايل الحفيد أن الخبل هو في بعض الأحيان مؤشر على التهاب مزمن في الغشاء الدماغي العنكبوتي وهكذا ظهرت الاصابة التي اتخذت فيما بعد اسم الشلل العام المتصاعد .

وأعطى سير شارل بل Bell (1774 -1842) اسمه لشلل الوجه (1821) . ووضع بويو Bouillaud مركز الكلام في التجويفات الخلفية من الدماغ (1823) . وأوجد أوليفي كلمة « سيرنغوميلي » (Syringomyélie) أو تكهف النخاع الشوكي ، وركز على النزف فيه وعلى التهاباته الحادة . وعرف بينل الابن Pinel في سنة 1833 أول وصف للتصلب الدماغي أو النشفان ، وفي سنة 1835 ميّز كرسول Carswell (من لندن) بين الميوعة الدماغية الالتهابية والميوعة الناتجة عن تلف الشرايين . وبعد ذلك بسنة ذكر مارك داكس أن نسيان اشارات الفكر واضطرابات الكلام ، لا تظهر إلا في شلل الدماغ الأيمن الناتج عن إصابة في نصف الدماغ الأيسر ، ونذكر أيضاً أن فاليكس Valleix درس الآلام العصبية في الذراع وحدد النقط الحساسة لانطلاقة الأعصاب وذلك في كتابه « كتاب الآلام العصبية » (1841) .

علم الطب النفسي .ـ جمع برير دي بوامون Brierre de Boismont عناصر الجنون الناتج عن السكر (1832) ؛ ودرس اسكيرول الوسواس المرضي الذي يتحكم بفعل منشئه الاحشائي ، بالطب النفساني والعقلي (1839) . وتفحص مارك الجنون في علاقاته القضائية (1840) . وأوضح جورجت Georget وديلانج Delange ، وخاصة كالميل Calmeil (1845) دلائل رئيسية والاصابات المزمنة في الغشاء العنكبوتي في الدماغ المسماة «أراكنيتيس بايل» (arachnitis Bayle) . وفي المانيا كان غريسنجر Griensinger مؤلف كتاب كبير في « علم الأمراض وعلم استطباب الأمراض العقلية » (1845) .

القلب والأوعية .ـ حوالى سنة 1824 ذكر كولن Collin ، في بداية « التهاب الشغاف » (السكتة القلبية الحادة) ضجة الجلد الجديد ، احتكاك فات فراسة لاينك Laennec . وفي حالة الانصباب أو الانسكاب ، ذكر لويس تباعد ضجيج القلب . وفي سنة 1829 ساهم دانس في تاريخ التهاب الوريد الرحمي « الغامض في دلائله ، والمخاتل في مساره والغني بالتعقيدات » . وكانت دراسة بيزوت Bizot حول أحجام القلب (1834) ذات قيمة . وفي سنة 1836 أطلق بو Beau اسم « آسيستولي » ، استرخاء القلب ، على المرحلة الأخيرة من الاصابات القلبية . وفي انكلترا درس هودغسون Hodgson منذ سنة 1815 ، انتفاخ الوتين أو الاورطي ، وفي سنة 1827 وصف القصور الوتيني ، وفيه تعرف كوريغان (1832) على « النبض في الشرايين غير الممتلئة » القافز والمتردي . وركز هوب سنة 1832 على الاضطرابات الوظيفية المرتبطة بالخلل في العضلة القلبية (الاستسقاء، عسرةالتنفس) .

الجهاز التنفسي .ـ عرف بومس Baumès ، من مونبيليه أن السل معدٍ ، خاصة من الأم الى الطفل (1805) . وفي سنة 1819، أي ذات السنة التي نشر فيها لاينك « التنصت المباشر » تنبأ

كارسون ، من ليفربول ، وهو سابق على فورلانيني Forlanini ، بالتأثير المفيد لإراحة الرئة المريضة ، وذلك بإدخال الهواء في فجوة الغشاء الرئوي .

ولاحظ ستوكس Stokes من دوبلن أن إدخال الهواء والآزوت في التجويف الرئوي يمكن أن يفيد ضد تطور السل الرئوي (1826) . ووصف لويس وجاكسون الانتفاخ الرئوي (1833) . وركز كوريغان سنة 1838 على تصلب النسيج الملحمي في تمدد الشعب أو الجيوب . وبين ليجندر Legendre وبايي Bailly بأن الالتهاب القصبي الرئوي من اثاره التحام النسيج النبيل في الرئة (1844) . وقدم والز دراسة خالدة حول الاحتقان الرئوي (1846) .

طب الأطفال . ـ نذكر أولاً « كتاب أمراض الأطفال المولودين جديداً . رضع » (1828 لبيارد Billard) ثم « كتاب أمراض الطفولة » (1843) لبارتز Bartez وريليت Rilliet الذي يشمل الاستطباب في أواخر السنة الأولى حتى البلوغ . ومن بين البحوث الأكثر أهمية المتعلقة بأمراض الطفولة يظهر التعارض بين الكوليرا الطفولية والكوليرا الاسيوية (باريش Parrish ، الولايات المتحدة الأميركية ، 1826) ، وكذلك مراقبة مرض حاصل أثناء الوباء اسماه كومل Chomel « اكروديني » (acrodynie) أو ألم الأطراف . وأكد ج . غيرين J. Guérin أن الكساح يبدأ بظاهرات عامة ، وليس بتشويهات عظمية (1837) ، ولفت غروير Gruère الانتباه الى مرض الاستفراغ الدوري (1840) . وعزا ش . روبين Robin القلاع [مرض فطري في الفم] الى نمو فطر اسمه « أوديوم البيكان » (oidium albicans) (1842) . وعزل فيرشو اللوكيميا (سرطان الدم) (مرض اللمفا بالسرطان الدموي) (1845) . وذكر لوبستين Lobstein تحت اسم « أوستيو بساتيروز » (Ostéopsathyrose) الضعف العظمي المرافق للولادة (1825) .

علم السرطان . ـ ميز لوبستين Lobstein الأورام ذات الشكل المعين (Holomorphe) والأورام المتنوعة الأشكال (1825) ، وفي سنة 1838 ، وضع الفيزيولوجي الألماني الكبير جوهانس مولر Johannes Müller ، صيغة القانون الأساسي : ان النسيج الذي يُشكل الورم له نموذجه في نسيج عادي طبيعي أو جنيني .

طبابة الجلد . ـ منذ بداية القرن ، كان تصنيف أمراض الجلد ، المُنشأ بين 1798 و1812 ، من قبل الطبيب الانكليزي ويلان Willan ، قد اُتبع بتصنيف اليرت Alibert ، ثم بتصنيفات راير Rayer (باريس 1835) ، وهبرا (Hebra) (فينا 1845) . في سنة 1829 ، وصف جان هامو (Jean Hameau) الحصاف (البرص الايطالي) وعزاه الى أثر بعض المزروعات الحبوبية الفاسدة .

الكبد . ـ مع ج . ل . بايل G.L. Bayle بدأ تاريخ سرطان الكبد . ومع لاينك Laennec، وبرايت Bright وبويو Bouillaud ، بدأت دراسة تليف الكبد . ومع أندرال Andral (1834) ، وكورفيلييه Curveilhier وبيكرل Becquerel (1840) تم التعرف على أمراض السفلس في الكبد . وقد ساهم أيضاً في هذه المكتسبات آبركرومبي Abercrombie ، وهوب Hope وكارسول Carswell في انكلترا ، وديتريش Dittrich وفون أوبولزر Von Oppolzer في ألمانيا

طب العيون والأذن والأنف والحنجرة . ـ لفت دالتون ، من مانشستر (1798) ، وتوماس يونغ

(1807) الانتباه حول اضطرابات رؤية الألوان . وأجرى ا. كوبر A. Cooper ، في سنة 1832 ، أول شق لطبلة الأذن ؛ ومنذ بداية القرن ، جرت المحاولات لتسليط الضوء على الحنجرة لدرس الأمراض في هذا العضو . وقبل أن يتحقق هذا الإنجاز ، تم عزل سل الحنجرة ، في فينا من قبل روكيستانسكي Rokistansky (1846) .

علم القبالة .ـ ورِّث بودلوك (1746 -1810) عمله الرصدي الدقيق حول الولادة الطبيعية ؛ أن التشويهات في الحوض كانت معروفة جزئياً (ناجيلي Naegele ، 1839 ، روبرت Robert ، 1842) . الى شدة الطلْق ، الموصوفة سابقاً ، أضاف دفيلر (Devillers) وربير (Regnault) ، هذه المؤشرات التي تخيفها:الاستسقاء ، والزلال . ودخل تنشيق الأثير والكلوروفورم في الممارسة الولادية ، وبسرعة كلية بعد دخولها في الاستطباب ، بفضل سمبسون ادنبورغ (Simpson d'Edimbourg) .

التشريح والفيزيولوجيا (علم وظائف الاعضاء) .ـ في فرنسا ، نشر بورتال (Portal) (1742-1832) في سنة 1803 « محاضرات في التشريح » ، في خمسة مجلدات . وراجع شارل لويس دوماس (Charles-Louis Dumas) (1765 -1813) التسميات العضلية بشكل ذكي . وكانت كتب بورجري (Bourgery) ، ومالغينيه (Malgaigne) ،ب ـ آ. بكلارد P-A. Béclard ، وكروفيليه (Cruveilhier) وهـ . ل. روجر (H.L. Roger) ، وفلبو (Velpeau) قد قدرت أعلى تقدير . وعوَّض غال (Gall) (1758 -1828) الذي كان وصفه للجمجمة موضوع جدل ، تعويضاً باهراً عن قصوره ، في تشريحه للجهاز العصبي ، حين ميز بين المادة الرمادية ، مهاد الأعصاب ، والمادة البيضاء ، موصلة التيار العصبي . وقد شارك في هذا التشريح آل مونرو (Les Monro)(إنكلترا)والايطاليان رولاندو Rolando وبانيتزا Panizza ؛ وفي ايطاليا أيضاً عمَّق سكاربا Scarpa (1747 -1832) التشريح الطوبوغرافي [الوصف الدقيق للسمات السطحية] بدراسة المناطق الفتقية والمجاورة ؛ في ألمانيا نشر ف. ج. جاكوب هنل (F.G. Jacob Henle) تلميذ بيشات Bichat التشريح العام « الجمينا آناتومي » (1841) ، واكتشف أنابيب الكلية ، والخلايا الكبدية ؛ وقرن لوشكا اسمه بالمنطقة البطنية .

وفي مجال الفيزيولوجيا (ان تقدم الفيزيولوجيا الحيوانية قد تم تحليله من قبل ج . غانغيلهم G. وم.كوليري ، في الفصل VI من الكتاب الأوّل) تعطي الجولة الأفقية أسماء برزيليوس الذي اثبت وجود الحديد في الدم (1807) وليغالوا الذي حدد موضع المركز التنفسي في البصلة (1811) ، وشارل بل (Charles Bell) وماجندي (Magendie) اللذين أوضحا ، على التوالي ، دور الجذور الأمامية والخلفية للأعصاب الفقارية . ودرس ليبغ Liebig الطبقات الكبرى الثلاث في الأطعمة : الشحوم ، الزلاليات ، وهيدرات الكربون (1842) ؛ أما وظائف العقد (الغدد اللمفاوية) القلبية فقد أوضحها ريماك Remak (1844) ، ولدويغ Ludwig (1848) ، وبيدر (Bidder) (1852) . وبين الأخوان وبر Weber بأن العصب المبهم [العصب الرئوي المضمي] هو العصب المنظم للقلب (1845). وسهل تفهم فيزيولوجيا الجهاز الهضمي بفضل ملاحظات بومون الذي راقب مفاعيل القرحة المعدوية عند صياد كندي (1832) .

علم المداواة .ـ تقرر وضع « قانون الأدوية الفرنسي » (Codex medicamentarius Gallicus) في

السنة الحادية عشرة [من الثورة الفرنسية] . وظهرت أول طبعة سنة 1816 ، والثانية سنة 1837 ، إذ فيها يقول المقدم : « لا شيء يعتق مثل علم الأدوية » . وقدمه أو عتقه مرهون بعدد الأدوية الجديدة التي تزيد أو تغير في مجاله . .

من ملح الأفيون الذي نسب الى ديروسن Derosne (1803) استخرج سرتورنر (Serturner) المورفين (1817) ؛ وحضّر بلتيه Pelletier وكافنتو Caventau الكينين(1820)؛ ثم ان الاتروبين [اللفاحين] (مين 1831, Mein) ، والكوديين (روبيكت Robiquet 1832) ، الديجيتالين [سُمٌّ] (هومول Homolle وكيفين Quevenne 1844) خرجت من المختبرات . وهناك اكتشافات أخرى تعود في تاريخها الى تلك الحقبة : اليود (كورتوا ، 1811) ، اليودو فورم (سيرولاس ، 1822) ، الكلوروفورم (سوبيران ، 1831) ، الكلورال (ليبيغ ، 1832) ، الفينول (رونج ، 1834) ، البيسين (شوان ، 1834) .

وبين اكتشاف هذه المواد واستعمالها في التطبيق مضى زمن للتأمل . كما تم التخلي عن الفصد المنهجي والوصفات الجاهزة . وأخذت انتقائية أندرال تتأرجح ، وقطع بريتونو بوضوح كبير علاقاته بالممارسات السابقة، وقام بمحاولات تجريبية وسمح لنفسه أن يغذي المصابين بالتيفوئيد بماء الكلس المطعم بالحليب الساخن والسكر . وفي كتابهما (1836 -1837) قدم تروسو وبيدو معلومات غزيرة حول الممارسات في تلك الحقبة . وكانت أدويتهما المفضلة هي الحديد والعفص . وأمرا بالفرك الزئبقي ضد الاصابات الأولية في السفلس والروماتيزم المفصلي الحاد . ولم يكن الدواء المهيج الذي يثير إصابة في مركز آخر ، من أجل القضاء على المراكز السابقة ، بمستنكر عندهم . وإذا كان الفصد في نظرهم مفيداً في بعض الأحيان فانهم كانوا يعتبرونه أيضاً، وفي الغالب ، مشكوكاً به . وفي الأمراض الحادة كانوا يصفون الراحة والحمية والسوائل اللطيفة والمسكنات الموضعية الملينة والحمامات الفاترة وكان للأفيون ومشتقاته ، ولمزيلات التشنج ، مثل المسك والناردين (Valeriane) وللمنومات والمسكنات مركز مفضل بين الأدوية المنصوح بها . وكانوا يمتدحون القطران في الاصابات الرئوية ، والماء البارد لمفعوله الاشفائي ، وكذلك ضمادات الثلج على المعدة بالنسبة الى المصابين بالتيفوئيد ، والحمامات الباردة ضد التشنج النفاسي ومفعول البيثموث (الذي نصح به أودييه ، من جنيف سنة 1786) ضد أوجاع المعدة وضد الاستفراغ غير المقرون بالحمى وكذلك لاستفراغ الأطفال . وكان تروسو وبيدو متحفظين جداً حول استعمال السورنجان (الكولشيك) ، الموصوف ضد النقرس ، منذ سنة 1814 ، من قبل أطباء انكليز ، كما كانا متحفظين ضد استعمال الكافور ، رغم الدعاية التي لا حدود لها والتي قام بها رسبيل Raspail ، ولكن في الأمراض العضوية القلبية استعملا القمعية (ديجيتال : مادة سامة) التي لم يكن مفعولها المفيد مقبولاً عند لاينك (Laennec) .

الطب الشرعي ـ بدأ به شوسيه Chaussier ، وكابانيس Cabanis وفوديري Fodéré الخ ثم مارسه بين 1819 و1823 أورفيلا Orfila (1787 -1853) المتخصص في علم السموم . وكان هذا العلم موضوع بحوث قام بها رونيتا Rognetta في بافي Pavie ، وكريستيسون Christison في ادنبره . وفي ألمانيا نشر هنكي Henke وليمان Liman كتباً عن الطب الشرعي . وعلّم ب. فرنك هذا الفرع من الطب في بافي ثم في فيينا .

الطب الاجتماعي ـ يبدو أن ديجينيت Desgenettes (1762 -1837) نصح بونابرت ، أثناء الحملة على مصر (1798-1799) أن يدعم جهوده من أجل التغلغل الصحي ، بحيث اعتبر هو مبتكر الطب الاجتماعي . وصدر قانون في انكلترا منذ سنة 1802 ، يحدد باثنتي عشرة ساعة في اليوم مدة عمل المتمرنين والمساعدين . وتخصص شارل تورنر تكراه (1831) وكاي Kay (1832) في انكلترا ، وماكس كريدي Cready في نيويورك ، وهالفورت Halfort في ألمانيا ، في دراسة الأمراض المهنية . وفي سنة 1832 اعتبر و. فار (Farr) الفقر وكأنه « المؤشر القوي للمرضى » . وكان « جدول الحالة البدنية والمعنوية عند العمال » (1840) الذي وضعه فيلرمي Villermé ذا وقع كبير . وجهود هذا الطبيب هي التي أثمرت القانون الذي نظم عمل الأطفال في المصانع اليدوية وفي المعامل والمحترفات (1840) . واتخذ القانونُ الفرنسي المؤرخ في 30 حزيران سنة 1838 حول وضع المعتوهين ، كنموذج في العالم . وفي سنة 1841 ، طلب لويس Louis القيام باستقصاءات في كل الأماكن تفتيشاً عن السل ، في حين نصح ريلييه Rilliet وبارتز Barthez بدراسة شروط حياة الأطفال المرضى . ومَثّلَ بينل Pinel في باريس وشياروجي Chiarugi في فلورنسا ، وقد أمرا بإطلاق سراح المعتوهين (1792 -1795) لم يُتَّبع في انكلترا الا في سنة 1837 . (شارل وورث Worth وغاردينر هيل Hill، وجون كونولي John Conolly) ؛ وفي الولايات المتحدة سعى كل من دوروثي لند ديكس Dix (1841)، وتيوك Tuke (1842) الى تحسين وضع المعتوهين والسجناء .

II ـ الحقبة التشريحية العيادية والبيولوجية

تعتبر « ثورة 1848 » [الفرنسية] بداية عهد جديد . فالمفكرون الأحرار رفضوا الفلسفات التيولوجية والميتافيزيكية وتشبعوا بالوضعية التي نادى بها أوغوست كونت وأسسوا « الجمعية البيولوجية » . وكانت هذه الجمعية دليلاً على التقدم البيولوجي الذي غيّر الطبابة التشريحية العيادية . وكانت الجمعية البيولوجية منذ بداياتها « مركزاً قوياً للمبادهة ، أكثر حيوية وأكثر تحرراً من الأكاديميات » . هكذا صرح م. برتيلوت سنة 1866 . ورئسها رايبه، وناب عن الرئيس كلود برنارد وش. روبين . وصرح هذا الأخير :

« إن هدفنا من درس التشريح ومن تصنيف الكائنات ، توضيح عملية الوظائف . وكان هدفنا من درس الفيزيولوجيا التوصل الى معرفة كيفية تلف الأعضاء ، والى أي حد تنحرف الوظائف عن الحالة الطبيعية » .

1 ـ التيارات الموجهة والمظاهر الرئيسية

كلود برنارد ـ كان كلود برنارد (1813 -1878) نجم هذا التجمّع . ووفقاً لبعض الشروط التي ترتفع من مراقبة الأحداث والوقائع الى البحث والى التعمق العلمي المستنير بالتفكير ، شبّه المراقبة الطبية بالتجربة ، واعتقد أن الطبابة تستطيع « أن تنزل في داخل الجسم وأن تعثر على الوسيلة التي من شأنها إحداث التغيير والتنظيم ، والى حدٍ معين ، في مقومات المادة الحية » . وكانت بحوثه الصبورة قد فتحت له الطريق واسعاً،بفضل دراساته حول العصارة المعدوية ، واللعاب ، وعصارة البنكرياس ، والعصارة المعوية ، ودور الكبد في إنتاج الحرارة الحيوانية ، ووظيفتها السكرية (الغليكوجينية) ،

ودونما عودة الى مختلف مظاهر انتاجه الغني (راجع بهذا الشأن ، دراسة ج . كنغويلهم Canguilhem ، وم . كوليري Caullery ، في الفصل VI من الكتاب الأ) . نذكر فقط أعماله حول اشباع الدم بالسكر عن طريق الحقن في نقطة من البصيلة السيسائية (لنخاع الشوكي) ووظائف الحُبي الكبير المحرك للأوعية الدموية ، وأثر الستريكنين والكورار على الحبل الشوكي ، وأوكسيد الكربون على الكريات الحمراء الخ .

رودولف فيرشو Rudolph Virchow ـ كان أستاذاً لعلم الأمراض في جامعة ورزبورغ Wurzbourg ثم في جامعة برلين ؛ وابتداءً من سنة 1856 ، أصبح رودولف فيرشو (1821-1902) في مرتبة العلماء الذين يعرضهم حظهم المميز للانتقادات الحادة من معاصريهم ، ولفهم أدق وأفضل من الأجيال القادمة . وكانت أفكاره المنشورة في كتابه « في أمراض الخلية . . » (برلين ، 1858،1850) قد عرضت في انكلترا بفضل سنهاوس كركوس Senhouse Kirkes(1852) وفي فرنسا من قبل ش. لاسيغ Ch. Lasegue (1857) . إن علم امراض الخلايا ـ المنبثق عن علم الخلايا النباتية لشليدن Schleiden ، مكتشف نواة الخلية ، وعن الخلية (بروتوبلاسما) لبوركيني Purkyne وعن علم الخلايا الحيوانية لشوان Schwann ـ لم يكن الا ليصل الى هذه البيّنة : إن الخلايا السرطانية قلما تختلف عن الخلايا الطبيعية في بنيتها ، بل في سلوكها ، وان هذه البينة هي ضربة معلم . كتب اتيان ماي يقول : « إن نظرية مولر قد نُصِرت بنجاح من قبل مواطنه فيرشو . . . الذي استطاع أن يجعلها مقبولة نهائياً » . وأصبحت العبارة « الخلية الكبيرة هي أيضاً خلية » مسلمةً مشهورةً . ويدل التعداد ، حتى المقتضب لأعمال فيرشو على سعة بحوثه : انسداد الشريان الرئوي (1846-1847) بياض الدم (لوكوميا) ، التهاب الشريان الحاد (1852) الفلوغوز (Phlogose) خثر الدم ، الانسداد الشرياني والاصابة بالأمراض (1846-1856) . وإذا كانت الانسدادات الوريدية ليست ، في نظره ، تابعة لأمراض وعائية ، إلا في بعض الحالات ، فهي كذلك بصورة منتظمة ، في نظر أحد تلامذته ، زاهن (Zahn) (1875) . وهكذا تقرر التواصل بين رأي فيرشو Virchow ورأي كروفيلييه (Cruveilhier) الذي ربط « الفلغماسيا البا دولنس » (Phlegmatia alba dolens) ، بالتهاب الوريد الداخلي الكبير (endoveine) (1838) . ومهما يكن من أمر ، فإن الانسداد الشرياني وخثر الدم يفسران حوادث لم تكن معروفة حتى ذلك الحين . وبهذا المعنى رأى بوشار (Bouchard) (1902) ، في فيرشو أول طبيب قال عن « الكيفية . . . وعن تتابع الأحداث المرضية التي يثيرها السبب » .

وحين عزا شاركوت Charcot « العَرَج المتقطع الدوري » الى انسداد شرياني ، فقد كان يتبع في ذلك فيرشو (1856) أما م. رينود M. Raynaud ، بالمقابل ، فقد ناهض التعميم (1862) ، فكتب يقول : « اليوم ، يمكن القول أن الانسداد قد ربح الجولة ، ولم يبق إلا المحافظة عليه من المبالغة فيه » ، ولكن « يوجد تشكيلة من الأكالات المفاجئة ، تصيب الأطراف ، ويصعب تفسيرها بالانسداد » ، والتي تُرَدُّ الى التشنج الوعائي .

فيلمن (Villemin) وتروسو (Trousseau) ـ تثبت تيار « كلود برنارد » في تأليف فيلمن (182- 1892) . في مختبر بسيط أولي في فال دي غراس ، حاول أن يُثبت أن السل يمكن بثه في الحيوان ، ونجح في ذلك (1865) . وعندها وجه الى اكاديمية الطب أبحاثاً . وفي سنة 1867-1868 نوقشت هذه

البحوث ونالت الموافقة أخيراً ، انما دون التعرض للمذهب . واستنتج فيلمن (Villemin) في « دراسة حول السل » (1868) من تجاربه ، نقض نظرية وراثة السل الرئوي . وأكد على سلّية طبيعة ذات الجنب (البرسام)، وعلى خطورة تعاطي الأولاد مع المصدورين من الكبار، واستخلص أن سبب السل يظهر « كمادة منتشرة في الجسم بواسطة الوسط (أو البيئة) الداخلي الذي ينشرها حين نقلها » .

وهناك توجه يتحصل من أسلوب تروسو (Trousseau) (1801 -1867) الذي اشتهر سريعاً ، عندما كان أستاذاً عيادياً بعد 1852 ، ونال شهرة عالمية . وكان وضع وتحرير المسائل المعالجة قد ازدادت قيمته بفضل حسن العرض والتقديم وبفضل بلاغة مدهشة . وقام تلاميذه المباشرون غالباً بإعادة نشر دروسه ، التي صدرت سنة 1861 .

قياس الحرارة العيادي .ـ منذ أن أدخل ل. تروب (L. Traube) (1818-1876) منحنيات الحرارة ، سنة 1850 تقريباً ، نجح تلميذه وندرليش (Wunderlich) في اعطاء بعض الأمراض دورةً ، أو فتراتٍ ، وأشكالاً عيادية ، مع صياغة بعض القواعد البسيطة في التشخيص .

كتب الأستاذ لوبري (Laubry) في كتابه « الحرارة في المرضى » (1868) ان وندرليش « أضاف القليل على مجموعة المعطيات التي حصل عليها الشهيرون من سابقيه ؛ ولكنه أثبتها ببراعة ، وجمعها في ضمة قوية ، تستعصي على المعارضات التافهة » .

ومنذ ذلك الحين أصاب الميزان الطبي تحسين كثير . وتتالت بكثرة الأعمال المرتكزة على استعماله بانتظام ، وفي سنة 1877 ، لخص كتاب لورين (Lorain) المنشور بعد وفاته ، المعطيات الحرارية بعد أن جمعها من نشرات متعددة .

العدوى النفاسية .ـ اتخذت أكاديمية الطب في باريس ، سنة 1851 ، موقفاً ضد الرأي القائل بالطبيعة العدووية لحمى النفاس . ولكن المشكلة لم تحلَّ . وفي سنة 1855 ، وجه لورين بحوثه نحو العدوى المباشرة من الأم الى الولد، ومن الولد الى الأم. وكان تارنيه (Tarnier) (1857) أكثر أصالة منه ، فزعم أن الحمى النفاسية موجودة وانها وبائية ومعدية ؛ وانطلقت المناقشة الأكاديمية من جديد سنة 1858 ، ولكن بدون نتيجة . وتحرك الرأي العام عندما أدخل ج . لوكاس شامبونيير J. Lucas Championnière التطهير، أو التعقيم الى دار التوليد في مستشفى كوشن (1874) فخفض الوفيات الى 1% . في هذه الأثناء مات سملويس (Semmeleweis) (1867) في مأوى للمجانين دون أن يعرف أن أفكاره قد انتصرت . وكان أ . و. هولمس (O.W. Holmes) أكثر حظاً فاستطاع أن يكتب : « لقد صرخت وانذرت أقوى ، ولمدة أطول ، من أي شخص آخر غيري ، وأنا سعيد أن أعلم أني ارتكزت على الواقع المادي ، قبل أن يأتي الجيش الصغير من الميكروبات لمساعدتي في الدفاع عن مواقعي » .

الجراحة .ـ قبل الوصول الى المرحلة التي مجدها هولمس Holmes، لم تكن الجراحة معطاءة إلا بعد إسنادها الى مفكرين عظام .

كتب ليسين (Lecène) : « بين 1850 و1860 ، كان هناك عدد من الجراحين ، توصلوا الى

إدخال الكثير من التحسينات على تشخيص بعض العمليات الجوفية . وكان منهم كـوبرلي Koeberle وبيان (Péan) في فرنسا ، وسبنسر ولس Spencer Wells وباكر براون Baker Brown ولوسن تيت Lawson Tait في انكلترا ؛ فقد كانوا يقومون بعملية تطهير بالصابون والماء المغلي ، دون أن يعرفوا » .

وقد ابتعدوا عن الغرف التشريحية ، وعن الجروح المتقرحة ، ولم يجروا عملياتهم إلّا في عيادات خاصة . وكانوا جراحين شجعاناً ، فاستكملوا تقنياتهم ، واتخذوا الوسائل المضمونة ، مثل المص أو التصريف عند شاسينياك Chassaignac (1859) ، وابتكروا الأدوات مثل الملاقط الإرقائية (الموقفة للنزف) التي ابتكرها كوبرلي Koeberlé (1864) وبيان Péan (1868) اللذين لعبا دوراً ضخماً في تقدم الجراحة . وأجرى سبنسر ولس Spencer Wells عملية التهاب الصفاق السلي الحبني (تجمع سائل في البطن) عن طريق شق البطن ، وانقذ المريض . وكان كوبرلي أول من استخرج ورماً ليفياً ضخماً عن طريق الشق البطني (1863) ، في حين نجح بيان Péan في استئصال الرحم عن طريق المهبل (1890) . وعمل لوسن تيت Lawson Tait (1845 -1899) ، من بيرمنغهام ، عن طريق شق البطن ، على استئصال التوابع ، فأحدث ، كما يقول ج. ل. فور J.L.Faure ، ثورة في تطبيب التقيحات التوابعية [المهبلية وغيرها . . .] (إن تاريخ التهابات صفاق الكرش ، وبشكل أخص الأغشية البطنية يضم عدداً كبيراً من الأعمال ، من بينها أعمال برنوتز Bernutz وتلاميذه (1880 -1884) « بناء مدهش من التشريح العيادي المرتكز على ركائز تطبيبية مزعزعة جداً وخاضعة للنقاش » ، أ. دوبري (E. Dupré) وب. ريبير (B.Ribierre) في أمراض الصفاق ، 1909) . ووضع إ . باكر براون I.Baker Brown ، أيضاً تقنيات جديدة . وفي أميركا استطاع ماريون سيمس Marion Sims شفاء الناسور الحويصلي المهبلي (1849) ، وفي انكلترا اطلق بارنس (Barnes) (1860) على الوضع المفاجىء في الحمل خارج الرحم اسم « هيماتوسيل كاتاكلسميك « Hematocèle Cataclysmique] Hemato = دم وCèle = خلية] . واستبدل وليم فرغوسون William Fergusson القطع الكلي ببتر العظم المفصلي كلما أمكن ذلك . وضبط جامس سيم James Syme ، بتر الرجل وكذلك فعل ن . ي . بيروغوف N.I. Pirogov في روسيا ؛ وحقق غوستاف سيمون Gustave Simon (من هيدلبرغ) استئصال الكلية ، (1869) .

التطهير [في الجراحة] ـ لقد أصاب الفشل الكبير الجراحين الذين لم يتخذوا نفس الاجراءات التي كان يتخذها المجددون . فالتطهير إذا تعمم فإنه يوسع عدد النجاحات الجراحية . والتطهير ـ كما يقول ج . لوكاس ـ شامبيونير J. Lucas ـ Championnière ، « لم ينزل كالوحي فجأة في مجال الجراحة » . وبصورة أدق أيضاً ، إن المطهرات سبقت التطهير . في سنة 1855 استعمل ديماركي Demarquay الغليسرين ، لتضميد الجروح ولمعالجة نتن [عفونات] المستشفيات . ونصح أيضاً ببرمنغنات البوتاس كمطهر ممتاز حوالى سنة 1860 .

ولكن من المقبول عالمياً أن أسلوب التطهير يعود في تاريخه الى يوم كتب عنه جوزف ليستر Joseph Lister (1827-1912) في مجلة لانست (The Lancet) (1867) . لقد طبق ليستر اكتشافات باستور عن جراثيم الهواء فقال « على الجراح أن يرى الجراثيم في الهواء ، كما نرى نحن الطيور في السماء » . وعن طريق ذر الماء المشبع ـ بالفنيك في الهواء (سبراي) ، طهر جو غرفة العمليات ، أو

الحقل العملياتي وقضى على تعفن كل ما يمكن أن يلامس الجرح ، بالتغطيس في الماء المشبع بالفنيك أيضاً : كاليدين ، والأدوات والأوتار المستعملة للتقريب ـ في الأعماق ـ بين الأنسجة الممزقة . أما السطوح الخارجية فكانت تلحم بخيوط من فضة . والتضميد كان يتألف من قميص من القماش الرقيق ، مشبع بالصمغ وبالبارافين .

إن التقدم الذي تحقق هكذا كان ضخماً . وبعد رحلة دراسية ، عند ليستر عاد تيرش Thiersch (من ليبزغ) ولوكاس شامبيونير (من باريس) مندهشين . والمجموعة التطهيرية التي شكلها الزعيم الفرنسي الشاب كان عليها أن تناضل طويلاً لتجعل هذه المبادىء مقبولة .

أفكار باستور والتطهير ـ رداً على معارضين له ، في 30 نيسان سنة 1878 ، في أكاديمية الطب ، وضع باستور خطة مختصرة للتطهير الجراحي ، ورسم ، على لوح أسود ، المكورة العقدية ، وهي العامل الخاص في العدوى النفاسية . وطبقت نصائحه من قبل جراحين رؤساء في مجالاتهم : تريّون Terrillon وبعده بقليل تريه Terrier .

التخدير والجراحة .ـ وبذات الوقت بلغ التخدير العام الكمال ، ولاحظ بيدوكس Pidoux وقسطنطين بول (1876) (Constantin Paul) تفضيل الجراحين الفرنسيين الكلوروفورم في حين فضل الاميركيون والانكليز الأثير . فكتبا :

« إن الحيطة الأولى الواجب اتخاذها ، وبوعي تام ، هي بالتأكيد عدم تنشيق أبخرة المنومات الخالصة الصافية ، ثم السماح للأوكسجين الهواء أن يدخل بكمية كافية في الرئة بحيث لا تتوقف عملية تنقية الدم » .

ونجحت هذه الطريقة في عمليات البتر ، وفي الفتق المخنوق، وفي البضع وفي التواء المفاصل والكسور ، كما وتسهلت عمليات التدخل في أمراض النساء . وقام ريس Reis في شيكاغو (1895) ـ وتبعه ورتهيم Wertheim ، من فينا ، وج . ل . فور ، من باريس (J.L. Faure) (1896) ـ باستئصال الرحم لسرطان في العنق عن طريق البطن ، بفضل « السطح المائل لترندلنبورغ » (1891) ، وبفضل كمال التجهيزات التطهيرية . وأدخل هالستد Halsted ، من بالتيمور ، استعمال كفوف الكاوتشوك (1899) ونظم استئصال سرطان الثدي . وفي فينا أجرى ولفلير Wölfler أول عملية فتح المعدة والمعي سنة 1884 ، ومنذ 1896 نجح في استئصال المعدة المصابة بالسرطان . وبدأت جراحة جانب الرئة سنة 1875 ، ثم تمت معلودتها من قبل اد. كينو Ed. Quénu ولونغت Longuet وتوفيه Tuffier وهاليون Hallion (1896) ، ودواين Doyen ، وماسيون Macewen . وفي سنة 1896 نجح رهن Rehn من فرانكفورت في تلحيم جرح في القلب (مع بقاء المريض حياً) ، وهي عملية كانت تعتبر غير قابلة للاجراء قبل عشرين سنة من قبل بيلروت في فينا ، الذي ترك عملاً مهماً في جراحة الأمعاء .

التخدير الموضعي .ـ كان هنالك ميل الى تجنب التخدير العام عندما تكون العملية قصيرة الأمد . ونشأ التخدير الموضعي ، الذي حل محل التخدير العلم يومئذٍ ، بفضل اختراع ابتكره برافاز Pravaz ، وهو طبيب من مدينة ليون (1791 -1853) ويقوم هذا الاختراع على إبرة مجوفة معدة لتسريب بركلورور الحديد في الجيوب الأمدَمية [تنفخ في جدار الشريان] . وتكييف هذه الابرة لتصبح مقذافة تم بفضل

شارير Charrière (1852) ؛ وقد دلّ على بداية التطبيب تحت الجلد وشاع هذا التطبيب بفضل وود Wood من أدنبره (1853) ، وعرف في فرنسا بفضل بيه Béhier (1859) الذي أدخل الاتروبين والمورفين لمعالجة الآلام العصبية . وأحدثت هذه الطريقة المنافع وتسببت أيضاً ببعض المشاكل الموضعية وتسببت أيضاً بالادمان على المورفين ؛ ولكن النجاحات زادت على المساوىء نتيجة سرعة مفعولها . فدخلت الطريقة في المعالجة الجراحية بفضل هاليستد Halsted (1884) ، ومع ب. روكلوس P. Reclus الذي وضح التقنية وكيفية الاستعمال والمحاذير والعوارض الطارئة والنتائج (1886) .

وفي سنة 1898 ادخلت معالجة العامود الفقري بالكوكايين ، التي ابتكرها بيير Bier ، في تقنية التخدير .

واستعمل توفية Tuffier سنة 1899 هذا الأسلوب الجديد في فرنسا ، بعد أن كان سلدويتز Seldowitz وزيدلر Zeidler قد حاولا تجربتها .

باستور Pasteur والطب .ـ بعد أن أشرنا الى أعماله المهمة حول مرض الجمرة(1) ، نذكر أن باستور من سنة 1881 الى سنة 1886 عكف على حل مشكلة الكَلَب . وقام مع شمبرلن Chamberland ، ورو Roux وتوليه Thuillier بالتأكيد على أن فيروس الكَلَب ينتشر في أعصاب العضو المعضوض ثم ينتشر في كل الجهاز العصبي المركزي . وقد ابتكر التلقيح بجزء من الحبل الشوكي المكلوب ، وأجرى أول معالجة في 6 تموز سنة 1885 على الإلزاسي جوزيف ماستر J. Meister ، وفي أواخر 1885 كان قد عالج 350 حالة كَلَب اقترنت بوفاة واحدة ، الأمر الذي تسبب له بهجوم عنيف قام به بيتر Peter أمام أكاديمية الطب ، وقد فشل هذا الهجوم بفضل الدفاع القوي الذي قام به كل من بروواردل Brouardel وشاركوت Charcot ، وفيليمين Villemin .

الميكروبات المولدة للأمراض .ـ وللدلالة على الجراثيم المولدة للأمراض ، ابتكر الجراح العسكري سديلوت Sédillot سنة 1878 كلمة « ميكروب » التي سرعان ما أُعتمدت ، في حين زاد عدد الميكروبات المسببة للأمراض المعروفة . وكان لكل ميكروب تاريخه الخاص ، الجذاب بفضل النشاط الدائب الذي قام به الكاشفون ، وبفضل النضال الذي فُرض عليهم من أجل إنجاح وجهات نظرهم . وعمل روبر كوخ Robert Koch (1843- 1910) على جعل اكتشافه مقبولاً ، سنة (1883) ؛ ويدور هذا الاكتشاف حول عُصية السل . ولكن خصومه ظنوا لفترة أنهم ربحوا القضية عليه ، إذ لم يعثر على الميكروب في الاصابات الحادة بالسل الرئوي . كما أن كوخ (Koch) لم يفرض بسهولة عامل الكوليرا ، أو العُصية العوجاء ، التي أثبت وجودها بخلال وباء وقع في مصر (1884) . وفي سنة (1883) بيّن تالامون Talamon عن طريق المختبر ، بالتجربة وفي العيادة أن المكورة الرئوية هي العامل المسبب في التهاب الرئة . واعترض عليه بأن العصية الرئوية التي اكتشفها فريدلاندر Friedlaender هي في الواقع سبب لالتهاب القصبة الرئوية . واستطاع يرسين Yersin ، في الهند الصينية ، التغلب على كل العقبات التي وضعت أمام مهمته ففحص قيح حبيبة من جثة مريضة بالطاعون أخذت بدون

(1) راجع دراسة م. كوليري : باستور والميكروبيولوجيا في الفصل IV من الكتاب I .

إذن من السلطة ، وأثبت وجود عصية الطاعون فيها (1894) . نذكر أيضاً أن عصية الجُذام خرجت من الظل سنة 1874 (هانسن Hansen) وفي سنة 1877 عُرفت أيضاً هزازة العفن المسببة للغرغرينا الغازية (باستور وجوبيرت Jubert) ؛ وفي سنة 1879 عرفت جرثومة السيلان (نيسر Neisser) ؛ وسنة 1880 عرفت : « ستافيلوكوك » الجرثومة العنقودية والمكورة العقدية ، وستريتوكوك (باستور) ، وعُصية التيفوئيد (ايبرت Eberth) ، وعُصية الرُعام (استسقاء الأغشية) (بوشار Bouchard وكابيتان Capitan وشارين Charrin) ؛ وفي سنة 1882 عُرفت عُصية الدفتيريا (الخناق) (كلبس Klebs) ؛ وفي سنة 1885 ، عصية المعي الغليظ (اشريش Escherich) وفي سنة 1886 ، العصية التي تصيب السحايا (Weichselbaum ويشلبوم) . وفي سنة 1887 تم اكتشاف « بروسيلا ميليتنسيس » الجرثومة التي تسبب حمى مالطة (بروس Bruce) ؛ وسنة 1888 ، عُصية الاسهال (الديزنتاريا) (شانتميس Chantemesse ويدال Widal) ؛ وفي سنة 1889 تم اكتشاف عُصية الأكلة (القرحة) اللينة (دوكري Ducrey) ؛ وفي سنة 1894 عُصية المعلبات اللحومية (فان ارمنجم Van Ermengem) ، التعاون المتبادل بين عصيتين « فيزو سبيريلر » (Fuso-spirillaire) (هـ. فانسان H. Vincent) وفي سنة 1896 تم اكتشاف جرثومات اشباه التيفوئيد (آشار Achard وبنسود Bensaude) ؛ وفي سنة 1899 تم اكتشاف المكورة المعوية (تيارسيلين Thiercelin) ، الخ .

الى لائحة الميكروبات المسببة للأمراض تُضاف لائحة « الفيروس » ، المسماة أيضاً « أولترافيروس » ، لأنها لا ترى بالمجهر ، وتسمى « الفيروس المتسربة » لأنها تعبر « فيلتر » المختبر وتحتفظ بخصائصها الأمراضية وتم اكتشاف فيروس الحمى القلاعية بفضل لوفلير Loeffler وفروش Frosch (1898) ؛ وفيروس محيط الرئة من قبل رو Roux ونوكار Nocard 1898 ؛ وفيروس فسيفساء التبغ من قبل بيجيرنك Beijerinck سنة 1898 ، وفيروس النبخ (جدري الغنم) ، من قبل بورل Borrel ، وفيروس الحمى الصفراء من قبل ريد Reed وكارول Carroll 1902 . وبدت ، وكأنها ناتجة عن فيروس ، الأمراضُ التالية : الحصبة (الحمراء) النكاف (أبو كعب) القوباء ، الحصبة والجدري والحماق (جدري الماء) والكساح الخ .

علم الطفيليات .ـ في سنة 1805 اكتشف فابريسيوس Fabricius حشرة تنقل الحمى الصفراء (Aedes fasciatus) أصبح اسمها «ستيغومايا فاسياتا» (Stegomya Fasciata) (تيوبالد Théobald، 1901) فاشتبه بدورها اودوار (1821، Audouard) وبوبرتوي Beauperthuy (1853) ، والطبيب الكوبي فنلاي Finlay (1881) . والغي رينوسي (1834، Renucci) ، الأخطاء الأكثر تمادياً حين أوضح وضع طفيلية الجرب . وفي سنة 1835 وصف أوين Owen « التريشينابيراليس» (الدودة اللولبية) (Trichina Spiralis) التي تنمو داخل العضلات (هربست Herbest ، 1850) ؛ ووضع لوكارت وفيرشو وزنكر دراسة حول مرض دودة الخنزير « التريشينوز» . وكانت دودة « انكيلوستوما ديودينال » هي العامل المسبب لهزال الأطفال القاصرين (دوبيني 1843) . وأطلق بيلهارز (1852) اسم « ديستوموم هاماتوبيوم » على تتة « الديدان العريضة » التي اعتبرت مسؤولة عن « البول الدموي » الذي تسببه التهابات في المثانة ، عليها ينمو السرطان (فيرشو ، 1888) . وعرف فون سيبولد ، سنة 1853 ان أكياس يرقات الدودة الوحيدة سببها دودة « تينيا اشينوكوكوس » ، التي عرفت منذ غوز

(1782)؛ وفي سنة 1853 عزا ب. ج. فان بندن البرص إلى طفيلية اسمها« ميستيسركوس سللولوزا». وفي سائل حليبي من دمل « الهيدروسيل » اكتشف ديماركي (1864) طفيلية أطلق عليها لويس Lewis (1872) اسم خيطية الدم البشري« فيلاريا سانغينس هومانيس»؛ وعثر على خيطية بنكروفت (1876) في دمل في الذراع ، وفي الورم اللمفاوي في الصفن (جراب الخصيتين) الخ . واكتشف أوبرماير الطفيلية الملتوية المسببة للحمى الراجعة (1873) ، واكتشف ف. لوش (1875) أميب الديزنتاريا (انتاموبا هيستولتيكا). نذكر أيضاً اكتشاف طبيعة الملاريا وعملية انتقالها بفضل سلسلة من الأعمال ابتداءً من أول مراقبة للخلية الوحيدة في دم مريض بالملاريا من قبل لافيران Laveran (1880) ، وصولاً إلى التعرف النهائي من قبل ج. ب. غراسي (1898) على انتقال عامل الملاريا بواسطة برغشة من نوع آنوفيليس (راجع بهذا الشأن دراسة م . كوليري ولّتري، الكتاب I ، الفصل I) . وهذا الاكتشاف كان له نتائج ذات أهمية بالغة في مكافحة الملاريا التي ساهم فيها العلماء الايطاليون مساهمة غالية .

ومن بين الفطور الطفيلية ، من المفيد أن نذكر أن النوع المسمى « النيسليوم » قد عُرف بفضل لنك Link (1809) . أما الفطر المسمى « فافوس Favus » البشر (ريماك Remak ، 1837 ؛ وشونلاين ، 1839) فقد أخذ على يد ليبرت Lebert (1845) اسم (Achorion Schönleini « اشوريون شونليني » ؛ وعزا غروبي Gruby القرع المصلعي الى « ميكروسبورون أودويني » (1843) ؛ ويُحدِث « اسبرجيلوس فوميغاتوس » (فريزينيوس ، 1863) لدى عالفي الحمام الاستسقاء الرئوي الذي اهتم به فيرشو ، وليشهايم ، وشانتيميس ، وفيدال ؛ وتُعزى فطور مختلفة الى النوع المسمى « اكتينوميس » (هارز Harz ، 1877 ؛ ابينغر ، وفانسان ، وكروز Kruse) .

علم الأمراض العصبية ، وعمل شاركوت . ـ في المكان والموضع اللذين كانت تسود فيهما الفوضى في علم الطب العصبي قبل مجيء شاركوت (1825-1893) جاءت مجموعات منتظمة جداً ، وكما يقول الاستاذ غيلان « في هذه الأطر كانت هناك لوحات مضيئة » ؛ وقلما وجد فصل من فصول « الباثولوجيا » أو علم الأمراض لم يكبر أو يتغير بفضل شاركوت . وتضمن عمله ، في ما تضمن ، أعمالاً حول الروماتيزم المزمنة والمتصاعدة (1853) والعرج المتقطع ، وأمراض النزيف الدماغي (مع بوشارد ، 1866) ، وتعيين الأماكن الدماغية والتيبس القُرْصي (مع فولبيان ، 1866) ، والتيبس الجانبي الضموري (1868) ، وداء المفاصل السُهَّامي [المقرون بالهزال] (1868-1869) والنوبات الهستيرية، وكذلك الكلى،المفاصل عند النقرسيين (مع كورنيل ، 1863) ، ومرض الشيخوخة والشلل المؤلم عند المصابين بالسرطان ، والسَلَعَة [تضخم الغدة الدرقية] الجحوظية ، وأمراض الكبد .

ويقع بالقرب من عمل شاركوت عمل الجراح سير جامس باجت (1814-1899) ، من لندن ، الذي عزل ، سنة 1876 ، التهاب العظام المتنامي ، وسنة 1879 ، مرض الثدي المسمى مرض باجت .

بوتين وأمراض القلب . ـ ظهر بوتين (1825 -1901) كطبيب قلب منذ أن قدم أطروحته (حول الضجيج الوعائي غير العادي الذي يتبع حالات النزف) التي حملته الى دراسة الصفير القلبي ، والى

اجراء البحوث حول الضغط الشرياني ابتداءً من سنة 1864 . وعمل حذر بوتين الشديد على تأجيل نشر دروسه حتى سنة 1894 ، ولم يظهر كتابه حول الضغط الشرياني إلا في سنة 1902 ، الأمر الذي مكنه من الوصول ، رغم ضعف الجهاز الذي ابتكره ، الى معلومات صحيحة حول ارتفاع الضغط الشرياني وانخفاضه . وبقيت آلة بوتين التي استعملها لاستخراج السائل الرئوي في الخدمة لمدة طويلة . واستعماله لمادة الديجيتالين كانت منطلق استطباب قلبي فعال .

بوشار وأمراض التغذية . ـ في تاريخ أمراض التغذية فرضت أفكار بوشار (1837-1915) نفسها طيلة سنوات . ماذا يجب أن نظن في ضعفاء المناعة ؟ قال ب. ليجندر ، سنة 1899 أن هذه الكلمة أصبحت مضرة أكثر مما هي نافعة . والواقع ان كلمة « ضعف المناعة » لم تكن واضحة أبداً . فمنذ أيام بازين (1807-1878) ، عُرِفَ نوعان من ضعف المناعة أو الوهن ، أو الإستهياء للمرض رئيسيان : داء المفاصل أو الحرض والإرتخاء العام .واعتبر بَثْرٌ لانسرو.(البثر والتبثر هو الشرى أو القوباء) حالة بين الحالين ؛ ولكن هالوبو صنفه كذلك هو وداء المفاصل والسَلعة [شكل من أشكال سل الطفولة يعرف بحصول انتفاخات عقدية] (ضمن حالات الإرتخاء العام) أما هانوت (1844-1896) فلم ير في أمراض المفاصل الا « حالة تكوينية (تتميز بتعطيل ، يكون عادة ولادياً وموروثاً) ، في تغذية الأنسجة اللحمية ومشتقاتها بحيث تصبح أنسجة ضعيفة المقاومة

ولم يعترف بوشار إلا بحالتين من حالات ضعف المقاومة أو المناعة هما السَلعة وارتخاء المفاصل ؛ وتتمثل الأولى بظهور الأكزيما والحصف [مرض جلدي معدٍ] والحبوب الجلدية ، والتهاب الجفون والزكام المزمن وسيلان الأذن وتشويهات العظام وكبر اللوزتين والتهاب الغدد وتضخم حجم المساريقية. ويشمل ارتخاء المفاصل أو الوهن المفصلي الأمراض الناتجة عن بطء التغذية التي صنفها بوشار ضمن ثلاث مجموعات : 1 ـ الإضطرابات الحمضية (الأسيدية) (مثل ارتفاع درجة الحموضة ، الكساح ، لين العظام الحملي أو غير الحملي) ، 2 ـ الإضطرابات المولدة للشحم (الزَهَم أو زيادة أفراد الغدد الدهنية، والبدانة) ؛ 3 ـ الأمراض الترسبية (الرُمَال أو ترسب في المثانة أو في المرارة ، داء الحصاة أو داء النقرس ، والروماتيزم المزمن ، والسكري) .

هذا الصنف الأخير من الأمراض كان موضوع العديد من الدراسات فتكون الحصاة في المرارة سببه ترسب الكولستارين (بريستو ، 1887 ؛ ونونين 1892) . أما النقرس فسببه بحسب رأي غارود ترسب حامض البول (آسيد أوريك) في المفاصل وفي الأحشاء ، ولكن غينو دي موسي يرفض مثل هذا التضييق لطبيعة النقرس (1874) .

إن تاريخ الروماتيزم المزمنة والمتفاقمة طويل للغاية . فقد بيّن هايغارت ، من سنة 1805 حتى سنة 1815 ، ان النتوءات أو العقد ليست تخثرات أو ترسبات متراكمة ، ولكنها جزء مكمل للعظام . أما مرض السكري الذي كان يعرف في الماضي من خلال الطعم العَسَلي للبول فقد عرف ، منذ 1848 بفعل التفاعل الذي توصل اليه الكيميائي الألماني هرمان فون فهلنغ (1812 -1885) وهذا التفاعل مشتق من طريقة ترومر Trommer (1841)، وأخيراً هناك السكري الجارح والذي عرف في القرن

السابع عشر، ويتميز بحسب رأي فالك Falck (1853) بترسب الأزوت وترسب الهيدروجين مع البولة والاستسقاء، وقد درس بشكل خاص من قبل ليكورشي Lécorché (1877).

2 ـ أربعة مكتسبات مهمة

الزائدة الدودية .ـ من مجمل المكتسبات التي تتدرج ابتداء من سنة 1880 لتستمر حتى نهاية القرن نذكر ، بالترتيب تبعاً للأهمية ، المكتسبات التي قلبت الرأي العالمي رأساً على عقب . لقد عرف مرض الزائدة الدودية حوالي سنة 1880 . وابتكر له الجراح الاميركي ماكبورني اسمه (النشرة الطبية النيويوركية 21 كانون الأول 1889) وفي سنة 1892 ، عرض ش. تالامون مختلف أشكال الزائدة في التشريح العيادي .

الفحص عن طريق الزرع .ـ سبق الزرع أو التشخيص المصلي ببعض الظاهرات . فقد لاحظ شارين وروجر (Charrin . Roger) (1892) تجمع الميكروبات ، وذلك أثناء درس زراعة عصيات قيحية ناتجة عن تجمد الدم . ولاحظ ر . بفيفر (R . Pfeiffer) أن مصل حيوان التجربة الملقح ضد الكوليرا يُحوِّل ويُفسخ عصية الكوليرا (1894)؛ وحصل على نتيجة مماثلة من حيوانات ملقحة ضد عصية ايبرت ، ورأى هذه الظاهرة عملية اكتساب مناعة ؛ وقد قاسمه دورهام ، (Durham) وخاصة غروبر (Gruber) هذا الرأي . وعندها تساءل فرنان فيدال (1862 - 1929) « هل اكتسب مصل مرض التيفوئيد خصائص تجميعية » ، وقام ببحوث ، وفي 26 حزيران 1896 أعلن عن اكتشاف التشخيص المصلي ، لأن ردة الفعل المطلوبة قد تحققت منذ اليوم الثامن من الحمى التيفوئيدية . وحصلت نفس النتيجة في الحميات الشبيهة بالتيفوئيد (آشار وبنسود) ؛ وأصبح التشخيص المصلي يستعمل بعد ذلك للتفريق بين حمى التيفوئيد واشباهها ، وكذلك لتأصيل التشخيص في الأمراض التي تخفي التيفوئيد مثل الكريب ، والتهاب السحايا والتهاب النخاع الشوكي ، والسل الحاد . وتنسحب هذه الطريقة أيضاً على الكوليرا وعلى الحمى المالطية (مرض متولد عن عصية بروس) وعلى الطاعون والحمى الصفراء ، وداء الببغاء [الهذيان] والديزانتيريا العضوية .

البزل القطني .ـ دخل سحب السائل النخاعي [الموجود بين السحايا] في الاستعمال سنة 1891 بفضل هنريش كونكي . ومظاهر هذا السائل المختلفة ، والمأخوذ عن طريق البزل القطني وكذلك خصائصه الفيزيائية والكيميائية قد درست في الحالة العادية وفي الحالة المرضية . واستخدمت العناصر الخلوية ، بواسطة الميكروسكوب ، من أجل تأسيس ما سمي بالتشخيص الخلوي ، لأن متعددات النُوى [نواة النواة] تتمتع بدرجة من الحدة في عملية تهييج السحايا باعتبار أن كثرة الخلايا اللمفوية تساعد على تفاعلية مخففة .

الفحص الراديولوجي .ـ بعد اكتشاف أشعة رونتجن (1895) أصبحت القدرة الهيوقراطية على الاستكشاف أكبر . وأخذت الصعوبات التقنية التي بدت في البداية ضخمة تتيسر سنة فسنة . ومنذ 1896 انصرف انطوان بيكلير (A.Béclère) وتلاميذه الى هذه البحوث بحماس . وفي نفس السنة طبق لانيلونغ وآشارد أشعة اكس من أجل تشخيص الأمراض العظمية والكسور والإلتواءات ، والسل العظمي والأجسام الغريبة . وقدم أودين وبارتيليمي صوراً راديوغرافية لليد وللقفص الصدري ، وقدم بوشار

أول ظواهر التجويفات السلبية ، الأمر الـذي حمَّس وليامس في أميركا وهـولز كنـيت في النمسـا ، وماراغليانو في إيطاليا . ومن بين التجديدات المتعددة ظهرت أعمال كانون في أميركا (1901) ، وأعمال ج . ش. رو وبالتازار في فرنسا ، اللذين حاولا تطبيق الراديولوجيـا على أمراض الجهاز الهضمي ، واستخدما تلوين البيثموث لتكثيف الظل ولتتبع جوانب المعدة ومظاهر باب المعدة العليا ومخرجها .

3 ـ انتشار العلوم الطبية

التشـريح .ـ قام دينونفيلي Denonvilliers بوصف صفاق الحوض الأصغر [الصفـاق غشاء عضلي] ؛ وتابع سابي بحوثه حول الأوعية اللمفاوية . ونذكر اللوحات الرائعة التي قدمها فارابـوف (1841-1910) ، ثم « تشريح الرأس والرقبة » الذي قدمه سيبيلو (1860-1953) . وقام بواريه Poirier من باريس وشاربي من تولوز بإدارة نشر أبحاث ضخمة ، وأصيلة في أكثر الأحيان حـول « التشـريح الوصفي » ؛ وظلت معالجة تستوت من ليون ، لمدة طويلة ، كلاسيكية . وكان للتشريح التوبوغرافي ممثلون ممتازون منهم : آ. ريشت ، وب. تيـلو في فرنسا ؛ وهينل ولودويغ ، وريماك ، وجرلاش ، وزنكر ، وجيجنبور هيزسنيـور ، ومركل في ألمانيا ؛ وولر في انكلترا ؛ وهرتل وزوكركندل في النمسا الخ .

علم الأنسجة .ـ تولى تعليم علم الأنسجة العام في فرنسـا بشكـل خاص كـل من رانفيه Ranvier ، وماتياس دوفال ، وبرينان . وأجرى لاغس بحوثاً مهمة حول الرئتين وحول البنكرياس . ويعتبر العلماء الإيطاليون في الأنسجة ومن بينهم باسيني ، في جسيمات اللمس ، وكورتي في عضو السمع ، وغولجي الذي اكتشف إمكانية تلوين النسيج العصبي بنترات الفضة ، هم من بين الأكثر شهرة ؛ وفي اسبانيا بَيَّنَ رامون اي كاخـال (1852-1934) في سنة 1888 ان الخلايا العصبيـة تتراسـل بالجوار والتلاصق .

علم وظائف الأعضاء أو الفيزيولوجيا .ـ تميز هوتشنسـون في انكلترا بدراسة المطاطية الرئوية (1849) ؛ وكان الألماني كارل لودويغ (1816-1895) قد أخذ سنة 1856 أول مخطط للضغط الشرياني (راجع أيضاً دراسة ج كانغيلهم وم. كـوليري الكتاب I، الفصل VI)، ودرس بارتيلو، ودوكلو وبوكر وبوركيلوت ، من سنة 1860 حتى سنة 1900 الخمائر ، وفي سنة 1866 قام بيتنكوفر وش. فوات في ألمانيا بدراسة عملية الأيض عند الانسان في حالة الصيام والأكل . وقام ايلي دي سيون بدراسة تسارع القلب عند تهييج العصب الودي الكبير . وكان التنفس في المرتفعات العالية موضوع بحث من قبل جوردانت (1861) ، ومن قبل بول برت (1878) ، ومن قبل موسو (من 1880 حتى 1900) ؛ وقام فيك بحساب الدفق القلبي (1870) ؛ وفي سنة 1874 عرف هيدنهن بنظريات الافراز الكلوي ، وعرف جيرهـارت بقوام الدم الشرياني والدم الوريدي من البولة . ومن سنة 1885 الى سنة 1895 ظهرت أعمـال شوفـو حول تعادل المأكولات في الطاقة الغذائية (إيزوديناميي Isodynamie) الأولية . وقدم شـارل ريشيه وروبنر أعمالها حول قانون السطوح . وفي سنة 1850 درس وولر الانحلال الخلوي الوولري (نسبة الى

وولر) العصبي . وفي سنة 1893 وصف هيز الأصغر الضفيرةالعصبية ـ العضلية في القلب .

علم الأمراض الداخلية . ـ إن أي تاريخ مثل تاريخ الطب يجب أن لا يهتم ، كإهتمامه ـ كما قال مارك بلوك ـ « بمشهد البحث وما فيه من نجاح ومن فشل » . إن أي مرض إلا ويمر بمراحل متتالية ، إلا ويخضع لإستقصاءات يقوم بها أشخاص ، يعطي المستقبل حكمه في قيمتهم .

من ذلك أن اندر وود قام في سنة 1774 بدراسة مختصرة لشلل الأطفال ؛ وأشار هين في ستوتغارت الى صفته الوبائية (1840) ؛ في حين سماه ريّيه وبارتهيز (1843) الشلل الأساسي في الطفولة . ودخل هذا المرض في إطار التشريح المرضي (الباتولوجي) مع بريفوت (1845) ، وشاركوت ، وروجر وداماشينو (1881) ، في حين قام دوشين من بولونيه (Boulogne) الأب والابن (1855-1864.1860) بوضع سماته المميزة . وأخيراً أطلق عليه اسم الشلل (بوليوميليت) السابق الحاد في الطفولة، « مرض هين ـ ميدين » وقد ركز هذا المؤلف الأخير أي ميدين بشدة على الصفة الوبائية لمرض الشلل ، بعد هين بـ 45 سنة . وتم الاعلان عن قانون شوبارت ـ ستوكس : « كل عضلة متصلة من تحت بمصل أو بغشاء مخاطي ملتهب تنشل » (وكان هذا القانون قد استشفه شوبارت) . من قبل ستوكس في دوبلن (1804-1878) سنة 1854 ؛ واقترن اسم هذا الأخير أيضاً باسم معلمه شاين في اكتشاف دوري شاين ـ ستوكس (فقد التنفس ـ اللهاث ـ فقد التنفس) وهو دوري وصفه شاين سنة 1816 ، وسحبه من النسيان تلميذه سنة 1846 ؛ كما اقترن اسم ستوكس باسم آدمس (النبض البطيء المستمر ، 1827-1846) . من هذه الأمثال التي تدخل في تاريخ الأمراض نضع جدولاً سريعاً بالمكتسبات الطبية المتتالية جهازاً بعد جهاز .

الجهاز الدموي . ـ في سنة 1862 جمع دوروزيز مختلف العناصر المسماعية لضيق تويج القلب الخالص ؛ ومنذ سنة 1863 سجّل مسجل نبضات القلب الذي وضعه ماري Marey ، النبض الطبيعي والنبض المرضي ؛ ودوّن المسجل ذاته ضجيج القلب . وفي سنة 1865 أثبت تروب ، في ألمانيا ، العلاقة بين الأمراض الكلوية والأمراض القلبية ، وبدون جهاز مسجل ، اكتشف ارتفاع الضغط الشرياني في التشنج النفاسي أو مرض القرينة [وهو مرض تقلصي في القلب يحصل للاطفال والنساء والحوامل] والتهاب الكلى الخلوي وفي التسمم بالرصاص . في سنة 1871 شهر بيتر بالعوارض الحَمْلية القلبية الناتجة عن الضيق التاجي . وميّز وليم أوسلر في سنة 1885 من بين أمراض الشغاف القلبية ، الصفات الأساسية لمرض الشغاف الخبيث البطيء . وقدم بوفريه وصف سرعة خفقان القلب الذروية سنة 1890 . وفي سنة 1893 ربط بارد في أمراض القلب ، بين نشأة استرخاء القلب وبين النوبات الإلتهابية . ودرس برودبنت وايوارت الالتصاق أو التلاحم في الغشاء القلبي (1895) . وفي سنة 1896 قدم ر. ماري دراسة رائعة تشريحية باتولوجية لإنسداد « الميوكارد » (نسيج القلب العضلي) وقدم بيك ، في ألمانيا وصفاً لإلتهاب الشغاف التقبضي .

وكان أول « مقياس ساعدي » (جهاز لأخذ الضغط من الذراع) من صنع وابتكار ريفا ـ رومي ، في باڤي (1890) . واستعاد مفهوم مرض الشرايين الحاد القوة والاهتمام بفضل ملاحظات باتري (1863) ، وبوتين (1878) أثناء الحمى التيفوئيدية . وأثارت التهابات الشرايين السفلسية والسِلّية

العديد من الأعمال وكذلك التهابات الشرايين الحادة والمزمنة . وفي سنة 1872 عرف غول وسوتون مرض تصلب الشرايين ، وفي فرنسا قام لانسيرو بتقديم أفكار مماثلة . وقام ولش (1875) باكتشاف المنشأ السفلي للتنفخ الوعائي الوتيني .

علم أمراض الدم . ـ قام فيرشو سنة 1845 بتصنيف الكريضات [كرويات بيضاء] فميز بين الكريضات الصغيرة ، ذات النواة المستديرة ، والأخريات ، الأكبر حجماً ، ذات النواة الملتوية ، ذات المنشأ الطحالي ، وأغنى علم الأمراض بمرضين : اللوكوميا [ابيضاض الدم] اللمفاوية أو العقدية واللوكيميا الطحالية أو النخاعية المنشأ . واقترح بينيت (Bennet) (من أدنبره) الذي قام بنفس الاكتشاف ، بذات الوقت التحديد الكريضي . وأوضحت بحوث أديسون Addison (1849) ، وبيرمير Biermer فقر الدم الخبيث (الأنيميا) (1868-1875) . ان السمات المرضية الدموية في مرض الكلوروز [فقر الدم بالكريات الحمراء] قد جمعها هايم Hayem وكان لكتابه « بحث في الدم واصاباته التشريحية » (1879) تأثير كبير . ان كثرة الكريات الحمراء في الدم المقرونة بنقص الأوكسيجين فيه ، وتضخم الطحال ، والأوجاع المفصلية تشكل مرض فاكز (Vaquez) (1892) . ان التوازن الكريضي يختل في الحالة المرضية (ليريدي Leredde وم . لوبير Loeper ، 1895) ؛ عكف دومينيسي Dominici (1900) على تتبع التفاعلات للكريضات بخلال الأمراض الحادة وبعد عملية الفصد . ووجدت وحيدات النواة مريضة في حالة السل الحاد ، والسل الجبني ، والجدري . وبقي نقل الدم ، المشجوب من قبل دوماس (Dumas) وبريفوست Prévost ، في سنة 1821 في الظل حتى قيام تجارب لاندوا Landois ، في ألمانيا (1867) وأوري (Oré) في فرنسا (1868) متبوعين من هايم Hayem وجوليان Jullien (1875) وروسل (Roussel) (1876) وأخيراً من م . رينود M.Raynaud الذي جرب نقل الدم مستعملاً دمه بالذات (1870) .

علم أمراض الرئة . ـ ساهم بارت (Barth) في اكتشاف تمدد الشُعَب (1856) وأ . والز (E.Woillez) في توضيح الاحتقانات الرئوية (من سنة 1854 حتى 1872)؛ وعزل غرانشر سنة 1883 (Grancher) المرض الطحالي الرئوي ؛ وتوسع العلم في أسباب أمراض الاستسقاء الحاد في الرئة : حادث بزل الصدر (بينولت Penault ، 1853) تعقيدات الكلية المزمنة (فرانتزل (Fraentzel) ، 1889 ، الخ) ؛ التيبس الرئوي درسه شاركوت (Charcot) (1878) . وقال فيرشو (Vrichow) ، ونومير (Neumeyer) ، ورينهارد (Reinhardt) (1850) ان التهاب الرئة الجبني هو غير السل ، ولكن فيلمين (Villemin) وشاركوت ، الخ كان لهم رأي معاكس . وظل السل التسارعي مجهولاً حتى جاء وولر (Waller)، في براغ ، دون الاهتداء ، مع ذلك ، الى سببه ، ثم أبرز فورنت (Fournet) (1839) « سيطرة الظاهرات العامة على الدلائل الموضعية » ؛ وقام لودت Leudet وخاصة امبيس Empis (1865) بتعريف السل الرئوي الحاد . كتب دريفوس ـ بريزاك وبروهل (Dreyfus-Brisac و Brühl): « نحن مدينون للمفاهيم الأكثر تضليلاً في منشأ الأمراض بأنها أعطتنا المعطيات العيادية الأكثر صحة » . لقد كانت غالبية أمراض ذات الجنب [إلتهاب الغشاء الرئوي الجانبي] تعزى لمنشأ سلي ، خاصة من قبل لاينك (Laennec) ولويس Louis والعديد من المؤلفين السابقين . واقترح بارد (Bard) (1898) تصنيفاً للأشكال العيادية للسل الرئوي ، ولم يتدعم هذا الاقتراح بتأييد التصوير الكهربائي

(راديولوجيا) ، إلا أنه شكّـل أساساً رائعاً للعمل . ومن أكثر المسائل بحثاً كان موضوع انتقال السل بالوراثة وبالعدوى. وكان الانتقال الوراثي ينال تـأييد بومغارتن (Baumgarten) (1883 حتى 1892) ، ولكنه تراجع أمام قـوة البراهـين المعاكسـة والمقدمـة من أنصار النـظرية الثـانية ، وخـاصة من قبـل موسغراف ـ كلي(Musgrave-Clay) (1879) ، الذي وضّـح الظروف التي تصبح فيها العدوى ممكنة ، ومن قبل فلوغج (Flügge) (1897) ، وقـد أثبتها حـين بين أن الـذرات التي يقذفهـا السعـال محملة بالعصيات . وقام كلش (Kelsch) وهوتن (Hutin) وكوس (Kuss) (1898) ، في فرنسـا ، وبومغـارتن (Baumgarten) ، في المانيا بإصـدار رأي مفاده أن السل ، في بـدايته ، ليس إلا من تعقيـدات السل الكامن والقديم .

علم الاعصاب .ـ حدد ب. بروكا (P.Broca) (1861) مـركز قـوة النطق والإفصـاح في أسفل التدوير الجبهوي الايسر الثالث . ولكن يقينه هذا قد زعزعته ملاحظات تروسو Trousseau وشاركوت Charcot (1863) ، اللذين وجدا ، بعد تشريح لعيٍّ [عاجز عن النطق] ، ان المنطقـة المشار اليهـا سليمـة . وهكذا لم يحتفظ الجيب الجبهـوي بالأولـوية التي كـانت معطاة لـه ، ولكن نظريـة الأماكن الـدماغيـة ، التي أسسها ، سنـة 1875 ، شاركـو Charcot ، وحاربهـا فـولبيـان Vulpian وفلورنس (Flourens) بقيت : ان المنـطقة المحـركـة تقـع في التلفيف الجبهـوي الصـاعـد وفي القسم الجـانبي الصاعد

وأضاف عـالم الأعصـاب هيولنغس جـاكسـون (Hughlings Jackson) (1867) عـدداً مـن المعلومات الاسبابية ، والعيادية ، ومعلومات حول نشأة الأمراض ، وحول الصرع الجزئي . ووضـع ج. سي (G.Sée) (1850) تحديداً للعلاقة بين الاختلاج العام والروماتيزم المفصلي الحاد ، في حين كان النزيف السحائي موضوع العديد من الدراسات . وحدد مركز الفالج الشقي في البصيلة التوتية من المخ ، عندما يضاف إلى الشلل الوجهي الشقي ، شلل الأطراف في الشق المقابل (ميلارد ـ غوبلر) (Millard-Gubler) ؛ وهو (أي الفالج الشقي) ذو مركز عنقودي ، عندما يكون هناك ، مثلاً ، شلل نصفي ، يميني مع ارتخاء في الجانب الأيسر (غوبلر Gubler ، ويبر Weber) . وقد أعيد الانحراف المتزاوج بين الرأس والعينين الى أسبابه من قبل بريفـوست وشاركـوت ، وخاصـة من قبل لاندوزي وغراسيه (1879) وجمع بران ـ سيكارد ، من 1849 وحتى 1863 أربعاً وعشـرين ملاحظة حول القـطع النصفي المخّي ، المتميز بكساح النصف الأسفل المقرون بخدرٍ متصالب .

وغاص بو Beau سنة 1849 في مجال التهابات الأعصـاب . وبين سنـة 1850 و1855 درس آران Aran ، وكروفيليه ودوشين من بولونيه الضُمور العضلي المتصاعد . وقبل أن يكتشف رومبرغ سنـة 1851 فَقْدَ التوازن عند اغلاق العينين وجمع الكعبين لم يكن للاختلاج الحركي أو للهـزال من تاريخٍ عيادي . وأشار دوشين البولوني الى فقد مواضع الأطـراف ، والى عدم التمـاسك الحـركي والى القوة المحفوظة . وأشار أرجيل روبرتـسون، وهو اختصاصي في العينـين في أدنبره الى فقـد التحـسس بالضوء مع الاحتفاظ بالقدرة على التكييف والتركيز . وفي سنة 1868-1869 ، أضاف شاركوت الى هذه العناصر الرئيسية الأمراض المفصلية الهزالية . وفي سنة 1877 سهّـل وستفـال تشخيص الهزال بـالغاء

الانعكاس الرضفوي المفصلي . وقبل سنة من ذلك تعرف آ. فورنيه على المنشأ السفلسي للمرض . وخرج داءُ تعبِ العضلِ من بحوث إرب Erb سنة 1878 ، ومن بحوث غولدفلام Goldflam (1891) ، وجولي (1891-1895) . ولاحظ شاركوت وجوفروا ، منذ 1869 وجود فصل في الاحساس ، لدى بعض المرضى، وهذه اشارة اساسية الى وجود تكهف في النخاع الشوكي ، وهو أمرٌ دخل في المرحلة العيادية بفضل كهلر Kahler (1882 -1888) ، وشولتز (1882) . وحول التكهف في النخاع الشوكي كان العمل الأكثر أهمية هو عمل ج. ليبين (1900) .

واهتدى لاسيغ Lasègue بالهامه لكي يتعرف على الم النسا : [عرق النسا (المترجم)] : فالعصب الذي يمر فوق عظم المقعدة يتمدد عندما يرفع الفخذ الممد ، كما لو كان وترَ كمانٍ فوق المسندة . وكانت الاشارة التي قدمها الطبيب الروسي كرنيغ والتي تشبه الانعكاس ، بمثابة ضوء إنارة لتشخيص التهاب سحايا الحدبة الدماغية (1882) ؛ وعرفت قيمتها وانتشرت بفضل نتر Netter (1898) . وأضاف بابنسكي الى علم الأعراض العصبية هذا ، الاشارة المهمة التي اقترن اسمه بها دائماً : توسع الابهام في الرِجل عند تحفيز أخمص القدم ، في كلِ مرةٍ تكون فيها الضفيرة الهرمية ، عند التقاء الدماغ بالنخاع الشوكي ، مضطربة (1896) . وفي سنة 1901 بيّن بابنسكي أن الظاهرات الهستيرية يمكن استحداثها بالتلقين ، وأصبحت بعد ذلك تتميز بشكل مطلقٍ عن الظاهرات العضوية .

وظهرت الجراحة العصبية سنة 1887 . كتب أوسلر ان «هورسلي استأصل بنجاح وَرَماً كان يضغط على الحبل الشوكي ، وربما كانت عمليته هي أشهر عملية في تاريخ الجراحة » وهذا طيلة ثلاثين سنة .

الأمراض العقلية ـ كان وصف هذيان الاضطهاد ، سنة 1854 ، من صنع لاسيغ الباهر . وفي ذات السنة تمَّ ، تحت إسمي الجنون المزدوج الشكل ، والجنون الدائري ، عزل تعاقب الهياج أو الحماس والانقباض أو الكآبة . وفي 1857 ، نشر مورل كتابه « معالجة الانحلال الخلوي » ، وأكد السويديان اسمارش وجيسن على النشأة السفلسية للشلل العام ، وتأيدت هذه النظرية التي استقبلت بالشك ، من قبل إرب (1887) ، ومن قبل ريجيس (1888) ، ومن قبل آ. فورنيه (1894) . وعَزَلَ ف. ماغنان الهذيان المزمن المتطور بشكل منهجي (1883) . نذكر أيضاً الذهان المقرون بالتهاب الأعصاب والمرتبط بالادمان على الخمر (كورساكوف ، 1887) ، ونذكر أعمال سيغلاس حول الاضطرابات في النطق عند المعتوهين .

أمراض التغذية ـ لقد أثار مرض السكري العسلي عدداً كبيراً من البحوث . ونذكر من بين أسبابه الأسباب المعنوية ، والأمراض العامة وفي أغلب الأحيان العصبية منها ، وكذلك الصدمة . ورغم معارضة الطبيب الانكليزي باڤي فرضت فكرة تحلون الدم التي قال بها كلود برنار ، نفسها : « ان المبالغة في أهمية البولة السكرية هي التي تسبب البول السكري » (ليكورشي ، 1877) . ومن بين الاشتراكات والتعقيدات هناك الغيبوبة السكرية أو الأسيتونية التي بفضل كوسمول (1874) ردت الى سببها ، في حين أن سابقيه لم يروا فيها إلا تعقيداً مشتركاً ومعترضاً . ونذكر أيضاً

« الغنغرينة » أو نخر العظام السكري ، في الأطراف (مارشال) ، ونذكر أيضاً التعقيدات التنفسية (دريشفلد) والسل الرئوي ، والعوارض القلبية الوعائية (ليكورشي) ، والعوارض الكليوية (غريسنجر ، أرماني ، اهرليش ، وشتروس) . أما مرض السكري الحاد فقد درسه بشكل خاص فويك (1853) وليكورشي (1877) .

وأثارت الروماتيزم المزمنة حماس الباحثين : دفيل Deville (1848) وبروكا (Broca) (1850) ، وشاركوت (Charcot) (1853) ، وتراستور (1853) وأ. فيدال (1855) . وعالج شاركوت مرضاً قلّما دُرِسَ حتى ذلك الحين ، ثم تعمق في بحوثه في مستشفى سالبترير ، حيث كان هذا المرض منتشراً بين المسنين من الفقراء ـ وكان أدامس ، في لندن ، قد سماه منذ 1839 ، نقرس العوز . وألقي الضوء على دور البرد والعديد من العوامل الأخرى . وأبرز بشتيريف (1897) سمات تصلب الفقرات المقرون بالأحديداب .وقام ب. ماري وآ. ليري(1899) بوصف تصلب الفقرات الجذوري بدون احديداب .وبيّن غارود تراكم الحمض البولي في الدم بصورة دائمة عند النقرسيين . ووضعت دراسات متخصصة خصيصاً للنقرس من قبل ديس دوكورث، وريشارديير ، وليكورشي ، وراندو ، وابستين ، الخ .

الجهاز الهضمي ـ يقول شومل ، « ان عسر الهضم هو مرض كل الأيام ، وهو يستعصي على الرقابة التشريحية ، ويصعب تصنيفه » (1857) ، وأوشك أن يذكر عسر الهضم بسبب الشراهة ، والغازات ، والقلويات ، والمغص الغازي ، وبسبب كثرة السوائل .

يقول ف. موتيه : « نرى تياراً مزدوجاً يظهر من خلال الضرورات التقنية : فمن جهة تقوم أدوات قياس ، ومن جهة أخرى تتوضح طرق التنظر الباطني التي تتطلب أجهزة أكثر فأكثر كمالاً » .

وجرب كوسمول وضع ناظور بلعومي وناظور معدوي تبين أنهما خطران . ومع المضخة المعدوية (1868) بدأت الدراسة الكيميائية لعملية الهضم (لوب Leube) ، وذلك بفضل ج. هايم وحده أو مع ونتر (1893-1896) ، وبفضل بوفريه Bouveret ، في ليون (نفس الحقبة) .

واختلف تصنيف عسر الهضم بين مؤلف وآخر . واتهم بوشار الكسل المعدوي ، وعدم كفاية الإفراز الكلوري بالتسبب بعسر الهضم (1884-1885) . وحول تمدد المعدة ظهرت أعمال ج. سيه (G.Sée) وماتيو (1884) ، وب. ليجندر (1887) .

وتحديد مكان سرطان المعدة قد درس من قبل برنتون (1857) وليبرت (1859) . وأثناء دراسة هذه السرطانات ، كان فقر الدم هو الركيزة ، ولكنه ، عندما كان يسيطر على المسرح العيادي ، كان يتخذ اسم الشكل الفَقْري الدموي لسرطان المعدة (هايم 1879) . وجمعت دلائل قرحة المعي الاثني عشري من قبل بوكوا (1887) . وتثبت هوسمان من تكاثر سرطان المعي فوق الالتواء (S) الحرقفي (1882) ؛ وكان الانسداد موضوع عدد كبير من الأعمال ، منذ لابريك (1852) ؛ وتخصص مايور ، في جنيف ، في بحوث حول انسدادات القولون (1893) .

الكبد ـ كان أول كتاب مخصص في فرنسا ، لأمراض الكبد ، هو ترجمة ج. سير (1878)

لدروس‌ش. مورشيسون (1868)، تلميذ غرافس ، الذي كان شاركوت قد نشر أفكاره سنة 1876 وكان تضخم الكبد (مع الدمامل ، والخراجات الاستوائية) ، وأنواع اليرقان ، وخاصة الحمى العائدة المقرونة باليرقان ، والاضطرابات الوظيفية الكبدية مواضيع أفضلية بالنسبة الى مورشيسون .

قال راندو Rendu : « إن اليرقان الخطير ، « الصفراء المميتة » عند بود Budd (1845) وهي نتيجة توقف الوظيفية الكبدية المفاجيء ، أدى الى قيام فريريش (Frerichs) بالتثبت من الضمور الأصفر والحاد للكبد ، الذي هو الثاني في قوته بالنسبة الى كل الأمراض الكبدية » .

ونشر هانوت ، سنة 1876 ، دراسته حول شكل من أشكال التليف التضخمي للكبد مع يرقان مزمن ومع تضخم في الطحال : في أعماله ، كما في أعمال زادوك ـ كاهن ، وشوفار ، ظهرت محاولات تجديد أثناء التشمعات التضخمية .

واعتبر هانوت بأن السرطان الثانوي في الكبد هو أكثر وقوعاً من السرطان الأولي (1888) . وتم تباعاً التعرف على سرطانات المرارة (برتران 1870) ، وعلى الإصابة الأولى للكبد (جيلبرت 1886) ، وسرطان القناة الصفراوية (ديكمان 1889) وأنبولة فاتر (Vater) (بوسون 1890) . واعتبرت الحمى المعاودة الكبدية التي قال بها مونيرت ، وشاركوت (1877) والمسماة الحمى الكبدية الوبائية عند شوفار ، مؤشراً على التهاب أوعية المرارة الحادة .

إن وصف الرمل في المرارة بدأ مع فوكونو ـ دوفرين (1851) ، واستمر مع تروسو وشاركوت . إن نظرية العدوى الوبائية في الرمال ، ترتكز على تحقيقات غاليب (1866) ، ونونين (1891) ، الخ . وسوء حالة الكبد ملحوظ في كل الأمراض المعدية : كوليرا ، حمى التيفوئيد ، وتسمم الدم النفاسي ، والجدري ، وفي الحمى القرمزية . ولفت روكيتانسكي ، وسيكل (1853) ، وفيرشو (1854) الانتباه الى السمات التشريحية والاسبابية للانحلال الخلوي التخمري . وفي اليرقان المزمن مع الاحتقان يعارض قانون كورفوازيه (1890) وتيريه (Terrier) (1892) ضمور المرارة في الرمال بالتمدد الضغطي في سرطان رأس البنكرياس .

الغدد الصماء أو ذات الافراز الداخلي .ـ أثناء سرطان البنكرياس ، بحسب رأي سيغر Segre (من ميلانو) وبارد Bard وبيك Pic (ليون 1888) ، أضيفت سمات أخرى الى اللون الزيتي لصاحب اليرقان هي السقام السريع ، وعلامات في البراز ، وآلام وأوجاع . إن الدلائل البنكرياسية في السكري قد ذكرها برايت Bright ، وشوبارت Chopart ، وبوشاردات Bouchardat ، وبعد صمت طويل ، سنة 1877 رأى لانسيرو Lancereaux ، في الاصابات البنكرياسية سبب السكري الهزالي ، ذي التطور السريع ؛ وأدى استئصال الغدة الى إصابة الحيوان بالسكري (ميرنغ Mering ومنكوسكي Minkowski 1881 ، اميل هيدون E.Hédon 1892) . وهكذا تم التوصل الى الافتراض بأن السكري الهزالي مرتبط بعيب في وظيفة البنكرياس : في الافراز الداخلي . وبين لاغيس (Laguesse) (1898) ان هذا الافراز الداخلي يتمركز في الخلايا [الانسولينية] التي وصفها سنة 1869 ، لانجرهانس (Langerhans) .

وقام الجراحان السويسريان ج ل. رفردين (1882) وكوشر (1893) ، المتخصصان بجراحة تضخم الغدة الدرقية بجذب الانتباه الى الهزال العام الناتج عنها والذي يعقب استئصالها وربط ذلك بالقصور في الدرقية . ولاحظ غولGull، وشاركوت وباليه واورد هذا النحول الذي أخذ اسم « ميكسوديم » أو خَزَبٌ [استسقاء].وبين رفردين وكوشر أن الكزاز الذي يعقب العمليات سببه الإستئصال العارض للغدد جنبدرقية . والصورة العيادية للحوصلة الجحوظية ، التي عرفها بشكل خاص ر.ج. غرافس (1835) ، بعد بارّي (Parry) (1825) وقبل باسيدو (Basedow) (1840) لم تُعرف في فرنسا الا بعد أن عرضها شاركوت (1856) . وبيّن كلود برنار دور العصب الودي في التناذر الملحوظ (تمدد في الحدقة ، خفقة وجحوظ) . وأثبت ماري الارتجاف . ونسب نفس المؤلف اسم « ضخامة الأطراف » (1885) الى ورم في الغدة النخامية يؤدي الى « تضخم فريد » في الأطراف . وفي سنة 1855 ، وفي مستشفى «غيز هوسبيتال » (Guy's Hospital) في لندن ، لاحظ اديسون اللون البرونزي في الأغشية ، والتعب الأقصى عند المرضى الذين يهوون ، ويبين التشريح أنهم يحملون أمراض في كبسولات فوق الكليتين . وأكّد براون ـ سيكارد (Brown-Séquard) (1856) ، وابيلوس ولانغلوا (1892) عن طريق التجريب المعطيات العيادية . ولفت الانتباه إميل سرجنت وليون برنار الى القصور فوق الكليتين الحاد (1898) .

علم البولة والكِلي . ـ لقد قلب ادخال الفحص بالناظور (نيتز ، 1885) علم الأمراض المثاني رأساً على عقب ، وتجاوز بعيداً المحاولات التنظرية الباطنية التي قام بها ديزورمو (Désormeaux) (1865) ، وكرويز (من دوبلن) ، وبروك Bruck (1867) . ان أمراض البروستات قد تكشفت: دمل ، سل ، تضخم ، سرطان . وادخل غويون Guyon التطهير والتعقيم في علم البولة . ان تحليل البول الطبيعي والمرضي ، اتخذ أهمية متزايدة مع أوليفيه وبرجرون ، وغوبلر (1865) ، في حين تكاثرت الأعمال حول علم الأمراض الكلبوية .

التخصصات . ـ لقد تحول علم الحُنجرة كثيراً بفضل مرآة أطباء الاسنان ، المعتمدة في دراسة الحنجرة ، على يد مانويل غارسيا ، استاذ الغناء في لندن (1854) ؛ أما ادخال المِرَنّ (معيار النغم) في البحث عن أسباب الطرش فيعود الى بونافونت ، تلميذ ايتارد ، والعمل الابرز في تطبيق هذه الطريقة يعود الى بيزولد ، من ميونخ : انخفاض ادراك الأصوات العميقة بسبب مرض الأذن وفقدان سماع الأصوات الحادة في حالة المرض في التيه التجويفي . وجذب الانتباه مير Meyer من كوبنهاغن الى الانباتات الغددية ، التي تسبب التهاب الأذن الوسطى والطرش والقصور التنفسي عند الأطفال.

علم طب العيون . ـ لقد طوَّر كثيراً منظار هلمهولتز (1861) البصري في علم طب العيون الذي استفاد مثل علم طب الأذن والأنف والحنجرة من التخدير الموضعي ومن الاكتشافات الباستورية .

طب الجلد . ـ قرَّب بازن بين التصنيفات الجلدية التي وضعها ويلان وآليبرت وبلنك ، ولعب دوراً مهماً لاستهياء كان من سماته التوسع التدريجي ، والميل الى المعاودة . وظل تصنيف هيرا : احتقان الدم وفقر الدم ، والاضطرابات الافرازية ، والتضخم (1845) سائداً لمدة طويلة . وأسس اونا Unna ، من همبورغ (1850 -1924) علم الأنسجة الأستطبابي .

طب السرطان : ـ يضاف إلى قانون مولر Müller ، الذي سبق ذكره ، قانونان جديدان : أ) الخلايا المتجددة تورماً في دمل تتوالد توالداً غير مباشر ، من خلايا سابقة (ريماك ، فيشو ، 1852) ؛ ب) يوجد في البلاسما الجديدة خصوصية خلوية : ان النسيج لا يستطيع ان يولد إلا خراجاً ذا بنية نسيجية مماثلة (ولديير 1870 ، بارد 1890) . « كل خلية هي خلية » يقول فيرشو ؛ ويضيف بارْدْ « من ذات الطبيعة والنوع » .

فن التجبير .ـ إبتداء من سنة 1840 ، خرج فن التجبير من الظل . فالتشويهات الولادية أو المكتسبة في الأطراف وفي العامود الفقري قد عرضت ، وصنفت ، وعولجت بقدر الإمكان . ومن بينها الإلتواء القلادي في الورك ، احتل مركزاً كبيراً في أذهان الباحثين ؛ ولكن عدا عن دور الوراثة ، وعن سوء التشكل، لم تبدُ نظرية ركلوس ـ فرنوي (Reclus-Verneuil) (1878, 1890) التي تؤكد على طبيعته غير الولادية ، ولا الاصابة العصبية التي قال بها لانيلونغ (Lannelongue) ، كافيتين في تفسيره . أما السل المفصلي المتأتي بعد الصدمة فقد كان موضوع تجارب متضاربة قام بها كل من م. شولر Schüller (1878) ولانيلونغ واشارد (Achard) (1899) . أمّا تقنية الأجهزة الجفصينية فهي تعود الى انطونيوس ماتيجسن (A. Mathijsen) (1852) .

الأمراض الوبائية وطب الأطفال .ـ ان الدلائل والإشارات المنذرة بالأمراض الوبائية والإعدائية لهذه الأمراض ، قد ظلت لمدة طويلة تثير اهتمام الأطباء . ومن بين الامارات نجد : الذبحة الروماتيزمية الصدرية (لاسيغ ، 1868) ، الخفقان (تروسو ، ش. فيسنجر) (Trousseau. Ch. Fiessinger) ، الخناق الأحمر ، والذي يسبق ظهور الحمى القرمزية (كادت دي غاسيكورت Cadet de Gassicourt الخ) ؛ علامة كوبليك Koplik (نيويورك ، 1896) التي تنذر بالحصبة ، والطفح المنذر بالجدري . وظهرت آراء حول انتشار الحصبة ، وحول مدة عدوى الحمى القرمزية ، والدفتيريا (الخناق) والجدري . وأخذت الحميراء مركزها بين الأمراض الطفحية ، ابتداء من سنة 1881 ، وميزها تالامون (1890) عن الحصبة ، كما ميّز الحُماق (جدري الماء) عن الجدري .

وطبقت كلمة السفلس الموروث على الجنين الحامل لجراثيم خاصة مقذوفة قبل ميعادها ، كما على بعض المظاهر المتأخرة : الهزال الجمجمي ، الشلل الكاذب الذي قال به باروت (Parrot) (1869) ، الاصابات القلبية الوعائية ، الورم اللحمي ، ثالوث هوتشنسون (Hutchinson) (1861) : التهاب القرنية ، الطرش ، ثلمة نصف هلالية في طرف القواطع العليا من الاسنان ، ثلمة دائرية في الناب .

وفي حين دار النقاش حول شكل السل الأكثر شيوعاً عند الأطفال ، ذكر تروسو أن الربو يبدأ في الطفولة ، وجرى أيضاً درس درجة الحرارة أثناء التهاب القصبة الرئوية ، وكذلك لمراض التهاب تهويف الرئة ، وكثرة الاصابات الرئوية الجرثومية بعد الإصابات الرئوية ، أو المتعلقة عن هذه الأخيرة .

وحاول روكيتانسكي من فينا أن يكشف عن الأمراض القلبية الولادية (1875) . وأكد هـ. روجر (1875) ان الاتصال بين البطيني لا يقترن بازرقاق البشرة ، وبيّن فالوت Fallot (1888) ان أمراض القلب

مع الازرقاق تنتمي الى أمراض مشتركة . وربط ويل Weill ، ووست West وهينوك Henoch ، الأمراض القلبية الشفافية الذاتية [غير المسببة بمرض آخر] بالروماتيزم المفصلية ، وفرق ويل Weill بين الالتصاق القلبي الروماتيزمي وبين الالتصاق السلي . وركز العديد من المؤلفين على كثرة التهاب عضلة القلب ، في حمى التيفوئيد ، والدفتيريا (الخناق) والجدري ، أثناء الطفولة . وأضاف ستيل Still تضخم الطحال (1897) عند الطفل المصاب بروماتيزم وبائية مزمنة تظهر مقرونة بأمراض الغدد عند الإنسان البالغ . وبحسب رأي تيرسيلين (Thiercelin) يعود عجز الوليد الجديد ، المسمى بالحجن [ضمور الأطفال] الى أسباب متعددة . في حين عرض بارلو Barlow داء الحفر الطفلي (Scorbut) (1883) . درس الاميركي دون Dunn ، ولونبك Lünbeck ومسنت (Mesnet) النزف [بسبب سيولة الدم] وبعض عواقبه . وكان كاسايت Cassaët (1896) مؤلف كتاب كلاسيكي حول التهاب الصفاق الذي تسببه جرثومة في الرئة . أما الجَبَن [تجمع سائل في البطن] عند الصبايا ، واختلاج الزردمة عند الأطفال الرضع ، والموت بالتضخم التيفوسي فقد كانت هي أيضاً موضوع دراسات مهمة .

واعترف ويشسلبوم (1887) بأن المكورات السحائية هي العنصر المولد لمرض السحايا المخي الشوكي . وجمع بورنفيل Bourneville وبريسو (Brissaud) تحت اسم التيبس التدرني في الدماغ عدة حالات في تدهور الذكاء .

وكانت الأورام الدماغية موضوع العديد من الدراسات في حين بيّن أسبين Espine وبيكو Picot ان الصرع يختفي طويلاً بشكل وجع بسيط (1889) . ودرست طبيعةُ وموضعُ ووصفُ مجملِ التهابِ السحايا السلية ، من قبل ليديبردر (1833) ، وفابر وكونستانت (Constant و Fabre) وريليه (Rilliet) وبارتهز (Barthez) ؛ وأضاف بوشوت Bochut الى الجدول العيادي وجود حبيبات في مشيمة العين كشفها منظار العين . وفي سنة 1861 عزلت ديبليجيا (الشلل المزدوج) (diplégie) الانكليزي ليتل Little ومرض فريدريك Friedreich ؛ ووصف سان فيليب الهستيريا الطفولية وفتح المجال الى تحديدها وتعريفها الواضح .

التسمم ـ ان المظاهر المختلفة للتسمم بالرصاص كانت موضوع بحوث مهمة قام بها تنكريل دي بلانش Tanquerel des Planches ، وغمريزول، وشاركوت ، ودوشين ولانسيرو في فرنسا ، وغارود في انكلترا ، وتروب في ألمانيا . إن « كتاب التسممات » الذي وضعه تارديو (Tardieu) (1867) يلخص الأعمال المتعلقة ـ خاصة ـ بالتسمم المزمن بالأفيون ، والزرنيخ والفوسفور .

الاستطباب ـ استمرت إجراءات الزمن الماضي ، رغم الشجب الصارم من قبل تروسو ، وبيدوكس وك . بول (1876) . وبعد أن وَبخ تالامود سنة 1896 ، الفصد والمقيء ، اعترف بأن الدواء النفطي قد « قاوم كل المهاجمات وكل النظريات » . واغتنى المخزن الاستطبابي . ولكن وقت التأمل بين الاكتشاف والتطبيق لم يضق إلا تدريجياً . ولم يدخل الاسبيرين المكتشف سنة 1853 (جرهارد Gerhardt ، ألمانيا) لم يدخل في الاستعمال الا سنة 1899 . وشجرة الستروفانتوس ، وقد ذكرها توشار (1864) استعملها دوجاردان ـ بومتز وهوكوا كمقوٍ للقلب (1885) ، ولكن الستروفانتين المستخرج من قبل فرازر (1869) اكتشف انه خطر من قبل بوتين (Potain) .

ولم يستعمل « الهكساميتيلين ـ تترامين » الذي اكتشفه بوتلروف (1860) كمدرٍ للبول ، ومضاد للخمج ، إلا بعد عودته من ألمانيا تحت اسم أوروتروبين ، وبرومور البوتاسيوم اكتشفه الانكليزي لوكوك (1851) كدواء خاص بالصرع . واستعمل كوهل ولوتيمان الأسيد ساليسيليك ضد الأمراض الوبائية (1875) ، واستعمله ستريكر ضد الروماتيزم المفصلي الحاد (1876) ، في حين استبدله ج. سي (G.Sée) بساليسيلات الصود . وادخل ش. كريدي (C.Credé) من ليبزيغ ، استعمال نيترات الفضة المحلول ضد رمد الأطفال الجدد (1884) ، والمراهم ذات أساس الفضة الغروية ضد الأمراض الوبائية (1897) ؛ ومنذ 1902 أصبحت الفضة الهلامية شائعة على يد نتر (Netter) . أما الزرقة في الوريد لمحلول كلورور الصوديوم ، وقد أدخلها ضد الكوليرا جوليشن (موسكو 1832) فقد استعادها مؤلفون كثيرون ومنهم هايم (1884) . وتبنى استعمال زهرة الديجيتال السامة كل من تروسو وبيدوكس للمعالجة القلبية ، ولكن هذا الدواء سرعان ما استبدل بالديجيتالين المبلر [المخبري] الذي أعده سنة 1871 ناتيفل (Nativelle) . ونصح مونيرت (Monneret) سنة 1849 استعمال مشتقات نيترات البيسموت في الإصابات المعدية المعوية .

وبعد ملاحظات واعية ، دشن براند (Brand) من ستيتن (Stettin) معالجة مائية ونفسانية لحمى التيفوئيد وعرفت هذه المعالجة نجاحاً يستحقه . وأدخلها الى فرنسا غلينارد Glénard ، ولكنها تحورت تحويراً مهماً فيما بعد .

وأدى اختراع التطبيب بالمصل الى قلب الطرق القديمة . وكان أول مصل هو المصل ضد الكزاز الذي نجح بشكل خاص كتدبير وقائي (بهرنغ وكيتاساتو ، 1890 ؛ ورو Roux وفايار Vaillard 1893 ؛ ونوكار Nocard) . وصنع روويرسين أمصالاً ضد الطاعون (1894) ،ضد الخانوق (1898) : وخفف هذا الدواء الأخير بشكل ضخم معدل الوفيات . ثم جاء المصل ضد الخمج العقدي الذي ابتكره مارمورك (1895) والمصل ضد الديزنطاريا الذي وضعه شيغا (Shiga) (1898) .

ووصف سيجن في ألمانيا ، وكانتاني في إيطاليا ، وبوشاردات في فرنسا ، الحمية الغذائية بدون سكريات في حالة مرض السكر العسلي .

وظهر التطبيب بالهواء في معالجات السل (بريهمر ، 1856 ، ودتويلر ، 1880) . وحصلت مجازر من جراء تأكيد كوخ Koch (1890) الطائش الذي اعتقد أن مصله يشفي السل الرئوي في بدايته . في سنة 1894 ، حصل فورلانيني Forlanini ، من بافي Pavie على اراحة الرئة ، بإملاء الغشاء الصدري الرئوي اصطناعياً بالهواء .

وبقي الملاذ الوحيد ضد السرطان ، البتر ، ولكن كيّ الدمل قد جُرِّب من قبل نيلاتون (Nélaton) (1850) بواسطة المكوى الكهربائي الذي وضعه هيدر (Heider) (1844) . واستعمل باكيلان (Paquelin) المكوى الحراري (1875) لتصريف التهاب الأعصاب الحاد والمزمن وجميع الأمراض العصبية . ودخلت أدوية عديدة مجال الطبابة منها : القطران ، القيء ، المضعف (زهر النرجس) ، نيترات الأميل (عشب) ، الخمر المدر المصنع في ميتم « الشاريتي » أو في أوتيل ديو ، بودور البوتاسيوم ، البلادون (حشيشة اللفاح) ، الكورار (نبات سام) ، وسم الايزيرين [قلوي من

حمصة كالابار] ، الهيوسيامين ، والكلورال والدابرين [أو الجويدار] ، وكلورور الكالسيوم .

الطب الشرعي ـ كان امبراواز تارديو Ambroise Tardieu (1818-1879) يعالج باتقان من الإجهاض ومن قتل الولد ، ومن الشنق ، والاختناق الخ . ووجه ب. بروواردل (1837-1906) الطب الشرعي في سبيل حذر جداً ، في حين كان لاكاسانيه (1843-1924) من ليون يدرس تأثير الوسط على المجرمين ، وكان سيزار لومبروزو ، (1830-1909) في ايطاليا يثير المناقشات الحامية حول نظريته « المجرم بالولادة » . نذكر أيضاً أعمال علماء الطب العقلي لوغران دوسول وج. فالرت ودراسات لاسيغ Lasègue ، حول المسؤولية القانونية للمجانين ، وحول الهذيان الغضبي ، التي ما تزال مقدرة .

الصحة ـ كانت البطلة فلورانس نايتنغايل (1820-1910) في انكلترا ، مصلحة المستشفيات ، والمستوصفات والمآوي ، والسجون ، وقد أنشأت نقابة الممرضات ، واللواتي يدعين للخدمة أيام السلم كما في أيام الحرب . وفي فرنسا ، عمل ميشال ليفي M.Lévy ، مأخوذاً بالحركة العلمية وبالأفكار الاجتماعية السائدة سنة 1848 ، ضد الاهمال في مجال الصحة وتهاون السلطات العامة وذلك في كتابه الرائع « كتاب الصحة العامة والخاصة » (1858) ، وبعد أن عمل على تخفيف الازدحام في قاعات مستشفى « فال دي غراس » خفف من نسبة الوفيات أثناء وباء الكوليرا . وكان هو صاحب الدعوة الى إعادة التلقيح الاجباري ضد الجدري ، في الجيش . وأصبح هذا التلقيح غير مضرٍ بفضل اضافة الغليسرين الذي كان يقتل الجراثيم ويتيح نقل اللقاح لمسافات بعيدة (ساكيبي Sacquépée ، ليون 1896) .

الصراع ضد الأمراض الوبائية : ـ من أجل مكافحة الكوليرا ، دعا بروست إلى «تركيز الاهتمام الإداري الصحي عند الحدود » . ونصح باركس (لندن) وبرونر (القاهرة) الكفاح من أجل تنقية المدن . وبدأ الصراع ضد الجرذان المرضى بالطاعون بعد اكتشاف باسيل يرسين (1894) . وفي سنة 1891 ، بيّن موتود أن التوزيع العام لمياه الشرب يخفف من معدل الوفيات بحمى التيفوئيد .

أما الوقاية من الملاريا ومكافحة بعوضة الانوفيل بتجفيف المستنقعات وبزراعة شجرة الاوكاليتوس فقد درست طويلاً ووضعت موضع التطبيق .

الطب الاجتماعي ـ عرف جول غيرين (Jules Guérin) ، سنة 1848 ، الطب الاجتماعي بأنه « الطب في خدمة المجتمع » . وقيل فيما بعد أنه « الزواج الموفق بين الصحة والعيادة » أو أنه أيضاً « علاقة الصحة الاجتماعية بالسياسة الاجتماعية » (ر. صاند) . وفي سنة 1848 وضع بودان برنامجاً واسعاً حول « مكافحة الوفيات المرتفعة ... اننا بحاجة الى الهواء الصالح للتنفس والى الغذاء الوفير وتحسين الصحة في الجيش وفي البحرية » . وفي سنة 1851 حصل وباء الكوليرا ، فأدى الى اجتماع في باريس ، في أول مؤتمر دولي ، وفي سنة 1874 ، أنشئت سكريتاريا دائمة كُلفت بتعميم وتجميع المعلومات المتعلقة بالأوبئة . واكتشف فيرشو في سيليسيا المصابة بوباء التيفوئيد ، تأثير ظروف المعيشة الصعبة التي يعيشها الساكنون . يقول « الأطباء هم المحامون الطبيعيون عن الفقراء ، والمسألة الإجتماعية تدخل في معظمها ضمن قضائهم » . ولكن في الولايات المتحدة الاميركية ، حيث وضعت أنظمة صحية اجتماعية ، في مختلف الولايات ، رأى المشترعون ، كما يقول شريوك ، ولو لمدة ، أن نداءات الجسم الطبي « هي مخططات القصد منها سيادته ومنافعه الذاتية »

وظهرت لأول مرة الطبابة التي تسبق الولادة ، سنة 1890 ، وذلك عندما أنشأ أدولف بينار أول مستوصف ، وذلك في المستشفى النسائي بوديلوك . وتبعه سنسر (لندن 1891) وبالنتين (أدنبره 1901) .

وفي انكلترا أنشىء المكتب العام للصحة العامة سنة 1848 . وفي فرنسا طالب ليتري بإنشائه سنة 1858 . وأنشئت مكاتب مماثلة في مختلف الدول الاميركية ابتداءً من سنة 1855 . وأسس م. فون بتنكوفر سنة 1866 أول معهد للصحة في ميونخ ، وأوجد عبارة الصحة الإجتماعية ، ولكنه تنقّص من أهمية الميكروبات . وفي فرنسا عمل الأطباء النواب على وضع قوانين لحماية الطفولة (1874) ، وحول تنظيم المساعدة الطبية المجانية (1893) ، وحول المسؤولية عن حوادث العمل (1898) . وأخيراً جاء قانون 15 شباط سنة 1902 حول حماية الصحة العامة ، فجمع ولخّص مختلف الجهود المبذولة خلال هذه الحقبة .

* * *

في فجر القرن العشرين . ـ ما هي الحدود التي سوف يضعها المؤلفون للقرن التاسع عشر ؟ الواقع هو أن الانتقال يبدو غير محسوس . في السابق وحوالى 1897 -1900 ، كان بالإمكان التنبؤ بأن العلم الطبي ، ودون أن يتوقف عن كونه تشريحياً عيادياً ، سوف يرتكز ، أكثر فأكثر على معطيات علم البكتيريا أو الجراثيم ، وعلى أساليب المختبر التي تحتاج الجراحة ومختلف الاختصاصات ، الى طلب معونته بشكل ضروري ملحّ . ان تطور الراديولوجيا أو التصوير بالأشعة قد تأمن في نظر وفي فكر أولئك الذين يؤمنون بالمستقبل بحيث أنهم يرون أن أمامهم قد تجاوزها العلم . في مجال السل الرئوي فرض العصرُ التصوير التشريحي العيادي . وسوف يستفيد علم المعدة الباطني ، وطب القلب وأمراض المفاصل والعظام ، الى حدٍ بعيد من اكتشاف أشعة رونتجين Rontgen (الذي كان تأثيره في طب السرطان قد أشار اليه فريبن Frieben سنة 1902) . ومن جهة أخرى سوف تأخذ أحداث معروفة ولكنها فردية أهمية لم تكن متوقعة . إن تسجيل الفيزيولوجي الانكليزي كاتون Caton للتيار الكهربائي فوق جسم الحيوان الخاضع للتجربة (1875) ، أدى سنة 1902 الى وضع المسجل الدماغي الكهربائي من قبل هانس برجر . وأطلق ماجندي (1839)وفلكسنر Flexner (1894) علم فرط الحساسية الذي قال به شارل ريشيه Charles Richet وبورتيه Portier (1902) فأصبح فكرة خصبة .

ومن السهل ، في عصر تسود فيه المضادات الحيوية ، ربط السلاسل التي تصل بين الاكتشافات الأكثر حداثة ، وبين الأفكار الملهمة التي قال بها روبرتس Roberts (1874) ، وتندال Tyndall (1876) وباستور Pasteur وجوبرت Joubert (1877) ، وأطروحة دوشين (ليون ، 1897-1898) ، حول التنافر بين الميكروبات والعفن ، ولكن لا شيء أفاد عن مثل هذا التطور . وعندما اكتشفت ماري وبيير كوري Pierre Curie البولونيوم والراديوم سنة 1898 هل كانا يظنان انهما أوجدا آمالاً كبيرة ، وبخاصة في تطبيب كان غير مأمول للسرطان ؟ وباجتياز الحاجز الواهي ، حاجز شهر كانون الأول سنة 1899 نجد للذكر ، في سنة 1900 ، كتاب فرويد Freud (Traumdeutung) الذي اندفع في

طريق الشهر . ولنـدستـنير Landsteiner الذي بين « أن مزيـج دم شخصين من نفس النـوع قد يعقبه أحياناً تجمع [تخثر] في الدم » (آ. تتري A. Tétry) . وفي سنة 1903 اكتشف ليشمان ودونوفان Donovan العامل في مرض الطحال المسـمى كالا ـ ازار Kala-azar . وفي مدريد القى بافلوف Pavlov أول مداخلة له حول الانعكاسات الشرطية ، كما أن المسجل الكهربائي لحركات القلب الذي وضعه النيرلندي انتهوفن Einthoven ، سوف يغني مجال علم القلب بمعطيات ثمينة كانت حتى ذلك الحـين غير مأمولة .

* * *

هذا التحليل للتقدم الرائع الحاصل بخلال القرن التاسع عشر في مجال العلم الطبي ينهي النظرة الشـاملة (البانوراما) الى مجمل تطور مختلف العلوم بخلال هذه الحقبة .

وإذا كان هذا العرض قد يبدو معقداً إلى حدٍ ما ، وموغلاً قليلاً في التقنية ، في نظر بعض القراء الذين لا يقدرون تمام التقديـر ضخامـة العمل العلمي الحـاصل في القـرن الماضي ، فمن الممكن ، بالمقابل ، أن يحكم آخرون ، من المؤالفين لمختلف مظاهر العلم المعاصر ، على هذا العرض بأنه سريع وموجز ـ على الأقل فيما خص مجال كل منهم بالـذات ـ وأن يأسفـوا لأننا لم نـذكر بتفصيـل أكبر هـذا الاكتشاف ، وذاك التيار من البحوث أو عمل ذاك العالم .

نحن لم نجهل مثل هذه المخاطـر عندمـا واجهنا الاعـداد لهذا المجلد ، وكـل واحدٍ من هؤلاء المعاونين ، قد أتيح له أن يقدر المصـاعب في مثل هـذا المشـروع . ودون الـتطلع الى إرضاء كـل هذه الرغبات المتضـاربة ، والمتعـارضة في أغلب الأحيـان ، لدى مختلف أنـواع الجمهور ، أردنـا أن نرسم شرحاً مفصلاً نوعاً ما ، لتطور مختلف العلوم عبر قرن غني بشكل خاص بالتجديدات من كل نوع ، وقد حاولنا أن نقوم بذلك متجنبين كل تقنية ليست ضـرورية .

نأمل أن تكون اللوحة الاجمالية المحققة على هذا الشكل قد أوفت ، بقدر الإمكان ، بالغرض وان يكون هذا الوصف التأليفي لمرحلة من أعظم مراحل تاريخ العلم ، قـد استطاع أن يقـدم لكل عناصر مفيدة للتوثيق وللتفكير . ان بعض الفصول التي تلي تضـع هذا التـطور في إطار أعم وتقـدم معلومات إضـافية استكمالية حول بعض مظاهر الحيـاة العلمية ، التي بقيت ـ خلال هذه الحقبة ـ جزئياً على هامش الحركة الاجمالية المتركزة حول أوروبا الغربية .

بيبليوغرافيا عامة للأقسام
الخمسة الأولى

الإطار التاريخي

Cadre historique. — « Histoire générale des Civilisations », t. VI : *Le XIX*ᵉ *siècle*, par R. Schnerb, 2ᵉ éd., Paris, 1957. — Coll. « Peuples et Civilisations », t. XIII : *La Révolution française* (G. Lefebvre, 2ᵉ éd., Paris, 1957) ; t. XIV : *Napoléon* (Id., 4ᵉ éd., 1953) ; t. XV : *L'éveil des nationalités et le mouvement libéral (1815-1848)* (F. Ponteil, nouv. éd., 1960) ; t. XVI : *Démocraties et capitalisme (1848-1860)* (Ch. Pouthas, 2ᵉ éd., 1948) ; t. XVII : *Du libéralisme à l'impérialisme (1860-1878)* (H. Hauser, J. Maurain, P. Benaerts, F. L'Huillier, 2ᵉ éd., 1952) ; t. XVIII : *L'essor industriel et l'impérialisme colonial (1878-1904)* (M. Baumont, 2ᵉ éd., 1949) ; J. Pirenne, *Les grands courants de l'histoire universelle*, IV : *De la Révolution française aux Révolutions de 1830* (Paris, 1951) et V : *De 1830 à 1904* (1953). — Coll. « Destins du Monde », t. IX : Ch. Morazé, *Les bourgeois conquérants*, Paris, 1957. — Coll. « Clio », t. VIII : *La Révolution et l'Empire* (L. Villat, Paris, 1957) et IX : *L'époque contemporaine (1815-1919)* (fasc. 1, J. Droz, L. Genet, J. Vidalenc, 1953 ; fasc. 2, P. Renouvin, E. Préclin, G. Hardy, L. Genet, J. Vidalenc, nouv. éd., 1960) ; D. Donati et F. Carli, éd., *L'Europa nel secolo XIX*, vol. III : *Le scienze*, Padoue, 1932.

مراجع

Bibliographie. — G. Sarton, *Horus, a guide to the history of science and civilization*, Waltham (Mass.), 1952 ; F. Russo, *Histoire des sciences et des techniques : bibliographie*, Paris, 1954 (suppl. ronéotypé, 1955) ; J. C. Poggendorff, *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*, 2 vol., Leipzig, 1863 (vol. 3 : *1858-83*, 1886 ; vol. 4 *(1883-1903)*, 1904) ; Royal Society of London, *Catalogue of scientific papers, 1800-1900*, 19 vol., Cambridge, 1867-1925 (index partiel, 4 vol., 1908-1914).

علم ، فلسفة واجتماع — E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, fasc. 6 et 7, Paris, 1948-1953 ; J. T. Merz, *A history of european thought in the 19th century*, 4 vol., Edinburgh, 1896-1914 ; A. D. White, *A history of the warfare of science with theology in Christendom*, 2 vol., New York, 1896 ; F. A. Lange, *Geschichte der Materialismus*, t. II, 9ᵉ éd., Leipzig, 1915 ; G. Sarton, *The history of science and the new humanism*, New York, 1931 ; A. N. Whitehead, *Science and the modern world*, Cambridge, 1925 ; G. H. Mead et M. H. Moore, *Movements of thought in the nineteenth century*, Chicago, 1936 ; G. Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1938 ; Id., *Le matérialisme rationnel*, Paris, 1953 ; J. G. Crowther, *The social relations of science*, London, 1941 ; B. A. W. Russell, *A history of western philosophy*, London, 1946 ; J. B. Conant, *On understanding science*, New Haven, 1947 ; W. P. D. Wightman, *The growth of scientific ideas*, Edinburgh, 1950 ; A. d'Abro, *The evolution of scientific thought...*, 2ᵉ éd., New York, 1950 ; H. Dingle, *The scientific adventure*, London, 1952 ; J. D. Bernal, *Science in history*, London, 1954 ; B. Russell, *The impact of science on society*, New York, 1956.

علم وتقنية — P. Bigourdan, *Le système métrique*, Paris, 1901 ; P. Dunsheath, *A century of technology*, London, 1951 ; L. Mumford, *Technique et civilisation*, trad. fr., Paris, 1951 ; L. Leprince-Ringuet, éd., *Les inventeurs célèbres*, Paris, 1951 ; A. P. Usher, *A history of mechanical inventions*, 2ᵉ éd., Harv. Univ. Press, 1954 ; Ch. Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall et T. I. Williams, éd., *A history of technology*, vol. IV : *The industrial revolution (c. 1750-c. 1850)*, London, 1957 et vol. V : *The late nineteenth century (c. 1850-c. 1900)*, 1958.

تاريخ العلم بوجه عام — W. WHEWELL, *History of the inductive sciences*, 3 vol. London, 1837 ; A. de CANDOLLE, *Histoire des sciences et des savants depuis deux siècles*, Genève, 1873 ; F. DANNEMANN, *Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung...*, 4 vol., Leipzig, 1920-1923 ; A. BORDEAUX, *Histoire des sciences au XIXe siècle*, Paris, 1920 ; E. PICARD, etc., et M. CAULLERY, *Histoire des sciences en France*, 2 vol., Paris, 1924 (t. XIV et XV de l'*Histoire de la nation française* de G. HANOTAUX) ; R. H. MURRAY, *Science and scientists in the nineteenth century*, London, 1925 ; M. CAULLERY, *La science française depuis le XVIIe siècle*, Paris, 1933 ; H. Th. PLEDGE, *Science since 1500*, London, 1939 ; P. ROUSSEAU, *Histoire de la science*, Paris, 1945 ; W. C. DAMPIER, *Histoire de la science et de ses rapports avec la philosophie et la religion*, trad. fr., Paris, 1951 ; H. DINGLE, *A century of science*, London, 1951 ; J. D. BERNAL, *Science and industry in the nineteenth century*, London, 1953 ; S. F. MASON, *Histoire des sciences*, trad. fr., Paris, 1956 ; M. DAUMAS, éd., *Histoire de la science*, Paris, 1957 ; D. PAPP et J. BABINI, *Las ciencias exactas en el siglo XIX*, Buenos Aires, 1958 ; Ch. SINGER, *A short history of scientific ideas to 1900*, Oxford, 1959 ; Ch. C. GILLISPIE, *The edge of objectivity*, Princeton, 1960.

Ph. LENARD, *Grosse Naturforscher*, München, 1929 ; J. G. CROWTHER, *Bristish scientists of the nineteenth century*, London, 1935 ; E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zürich, 1941 ; S. LINDROTH, éd., *Swedish men of science*, Stockholm, 1952 ; Éloges académiques de Cuvier, Arago, J.-B. Dumas, J. Bertrand, E. Picard, L. de Broglie, etc.

القسم الأوّل : الرياضيات

مؤلفات عامة — D. E. SMITH, *A source book in mathematics*, New York, 1929; J. R. NEWMAN, éd., *The world of mathematics*, 4 vol., New York, 1956 ; F. MÜLLER, *Führer durch die mathematische Literatur*, Leipzig, 1909 ; G. LORIA, *Guida allo studio della storia delle matematiche*, 2e éd., Milan, 1946 ; G. SARTON, *The study of the history of mathematics*, Harv. Univ. Press, 1936.

J.-B. DELAMBRE (et S.-F. LACROIX), *Rapport historique sur le progrès des sciences mathématiques depuis 1789...*, Paris, 1810 ; A. MACFARLANE, *Lectures on ten british mathematicians of the nineteenth century*, New York, 1916 ; F. CAJORI, *History of mathematics*, 2e éd., New York, 1919 ; D. E. SMITH, *History of mathematics*, 2e éd., 2 vol., Boston, 1923-1925 ; F. KLEIN, *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert*, 2 vol., Berlin, 1926-1927 ; W. W. ROUSE BALL, *Histoire des mathématiques*, trad. fr., 2 vol., Paris, 1927 ; G. KOWALEWSKI, *Grösse Mathematiker*, München, 1928 ; N. NIELSEN, *Géomètres français sous la Révolution*, Paris, 1929 ; G. PRASAD, *Some great mathematicians of the nineteenth century*, 2 vol., Benares, 1933-1934 ; P. MONTEL, éd., Les mathématiques, in *Encyclopédie française*, t. I, Paris, 1937 ; E. T. BELL, *Les grands mathématiciens*, trad. fr., Paris, 1939 ; ID., *The development of mathematics*, 2e éd., New York, 1945 ; L. BRUNSCHVICG, *Les étapes de la philosophie mathématique*, 4e éd., Paris, 1947 ; F. LE LIONNAIS, éd., *Les grands courants de la pensée mathématique*, Paris, 1948 ; D. J. STRUIK, *A concise history of mathematics*, 2 vol., New York, 1948 ; R. C. ARCHIBALD, *Outline of a history of mathematics*, 6e éd., Amer. Math. Monthly, 1949 ; G. LORIA, *Storia delle matematiche*, 2e éd., Milan, 1950 ; P. BOUTROUX, *L'idéal scientifique des mathématiciens*, 2e éd., Paris, 1955 ; M. d'OCAGNE, *Histoire abrégée des sciences mathématiques*, Paris, 1955 ; O. BECKER et J. E. HOFMANN, *Histoire des mathématiques*, trad. fr., Paris, 1956 ; R. E. MORITZ, *On mathematics and mathematicians*, New York, 1958 ; H. LEBESGUE, *Notices d'histoire des mathématiques*, Paris, 1958.

F. CAJORI, *A history of mathematical notations*, 2 vol., Chicago, 1928-1929 ; J. TROPFKE, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, 2e éd., 7 vol., Berlin, 1921-1924 (3e éd., vol I-IV, 1930-1940) ; *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*, Paris et Leipzig, 1904-1914 : tous les fascicules parus contiennent d'importantes précisions historiques sur les sujets traités (cf. F. RUSSO, *Bibliographie...* sup. ronéotypé, 1956, p. 120). Œuvres complètes : voir LORIA, *Guida...*, pp. 204-16 et G. SARTON, *The study of the history of mathematics*, pp. 70-98.

الجبر والهندسة — Th. MUIR, *The theory of determinants...*, 4 vol. et suppl., London, 1906-1930 ; A. von BRAUNMÜHL, *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie*, t. II, Leipzig, 1903 ; A. BRILL et M. NÖTHER, Die Entwicklung der Theorie der algebraischen Funktionen in älterer und neuerer Zeit (*Jahresbericht d. deutscher Math. Verein.*, III, 1892-1893) ; G. VERRIEST, *Les nombres et les espaces*, Paris, 1951 ; E. SCHRÖDER, *Vorlesungen über die Algebra der Logik*, 3 vol., Leipzig, 1890-1895 ; L. COUTURAT, *De l'infini mathématique*, Paris, 1896 ; ID., *Les principes*

des mathématiques, Paris, 1906 ; B. Russell, *Principles of mathematics*, vol. I, Cambridge, 1903 ; P. E. B. Jourdain, *The nature of mathematics*, London, 1913 ; F. Enriques, *Per la storia della logica*, Bologne, 1922 (trad. fr., 1926) ; A. Church, A bibliography of symbolic logic (*Journ. of symb. logic*, 1936 et 1938) ; J. Cavaillès, *Méthode axiomatique et formalisme*, 3 vol., Paris, 1938 ; T. Dantzig, *Henri Poincaré, critic of crisis*, New York, 1954.

M. Chasles, *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, 2e éd., Paris, 1875 ; Id., *Rapport sur les progrès de la géométrie*, Paris, 1870 ; G. Darboux, Étude sur le développement des méthodes géométriques (*Bul. sci. math.*, 1904) ; G. Loria, *Il passato e il presente delle principali teorie geometriche*, 4e éd., Padoue, 1931 ; J. L. Coolidge, *A History of geometrical methods*, Oxford, 1940 ; Id., *A History of the conic sections and quadric surfaces*, Oxford, 1945 ; M. Simon, *Über die Entwicklung der Elementar-Geometrie im XIX Jahrhundert*, Leipzig, 1906 ; F. J. Obenrauch, *Geschichte der darstellenden und projektiven Geometrie*, Brünn, 1897 ; E. Kötter, Die Entwicklung der synthetischen Geometrie... (*Jahresbericht d. deutsch. Math. Verein*, t. V, 1898-1901) ; F. Amodeo, *Origine e sviluppo della geometria proiettiva*, Naples, 1939 ; F. Engel et P. Stäckel, *Die Theorie der Parallellinien...*, Leipzig, 1895 ; Id., *Urkunden zur Geschichte der nichteuklidischen Geometrie*, 2 vol., Leipzig, 1898-1913 ; R. Bonola, *La geometria non-euclidea*, Bologne, 1906 ; D. M. Y. Sommerville, *Bibliography of non-euclidean geometry*, London, 1911 ; M. Pasch et M. Dehn, *Vorlesungen über neuere Geometrie*, nouv. éd., Berlin, 1926 ; M. Jammer, *Concepts of space*, Harv. Univ. Press, 1954 ; G. Loria, Perfectionnements, évolution..., du concept de coordonnées (*Osiris*, t. VIII, 1948) ; C. B. Boyer, *History of analytic geometry*, New York, 1951 ; G. Loria, *Curve piane speciali...*, 2 vol., Milan, 1930 ; Id., *Curve sghembe...*, 2 vol., Bologne, 1925 ; F. Amodeo, *Sintesi storico-critica della geometria delle curve algebriche*, Naples, 1945 ; D. J. Struik, Outline of a history of a differential geometry (*Isis*, v. 19 et 20, 1933-1934). Biographies de Poncelet (Tribout, Paris, 1936) ; Steiner (L. Kollross, Bâle, 1947) ; von Staudt (M. Noether, 1923) ; Lobatchevski (V. F. Kagan, Moscou, 1948) ; Bolyai (P. G. Stäckel, Leipzig, 1913) ; Plücker (W. Ernst, Bonn, 1933) ; Lie (F. Engel, 1899) ; Darboux (E. Lebon, Paris, 1910) ; Bianchi (G. Fubini, 1929).

التحليل ونظرية الأعداد — E. Picard, Sur le développement de l'analyse... (*Bul. Sci. Math.*, 1904) ; H. Poincaré, L'état actuel et le développement de la physique mathématique (*ibid.*) ; P. Boutroux, *Les principes de l'analyse mathématique*, 2 vol., Paris, 1914-1919 ; L. Geymonat, *Storia e filosofia dell'analisi infinitesimale*, Turin, 1947 ; O. Toeplitz, *Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung*, Berlin, 1949 ; C. B. Boyer, *The concepts of the calculus*, 2e éd., New York, 1949 ; R. Reiff, *Geschichte der unendlichen Reihen*, Tübingen, 1889 ; A. Enneper, *Elliptische Funktionen. Theorie und Geschichte*, Halle, 1890 ; I. Todhunter, *History of the calculus of variations...*, Cambridge, 1861 ; M. Lecat, *Bibliographie du calcul des variations...*, Gand, 1916 ; R. Poirier, *Le nombre*, Paris, 1938 ; J. Cavaillès, *Remarques sur la formation de la théorie abstraite des ensembles*, Paris, 1937 ; L. E. Dickson, *History of the theory of numbers*, 3 vol., Washington, 1919-1923 ; Ø. Ore, *Number theory and its history*, New York, 1948 ; R. Noguès, *Le théorème de Fermat ; son histoire*, Paris, 1932 ; Biographies de Gauss (L. Bieberbach, Berlin, 1938) ; Abel (L. de Peslouan, Paris, 1906 ; Ø. Ore, Minneapolis, 1957) ; Bolzano (E. Winter, Leipzig, 1933) ; Cauchy (C. A. Valson, Paris, 1868).

الاحتمالات والاحصاء — I. Todhunter, *History of the mathematical theory of probability*, Cambridge, 1865 ; G. du Pasquier, *Le calcul des probabilités, son évolution...*, Paris, 1926 ; A. Meitzen, *History, theory and technique of statistics*, 2 vol., Philadelphie, 1891 ; J. Koren, *The history of statistics*, New York, 1918 ; H. M. Walker, *Studies in the history of statistical method*, Baltimore, 1929 ; H. Westergaard, *Contribution to the history of statistics*, London, 1932 ; M. Greenwood, *Medical statistics from Graunt to Farr*, Cambridge, 1948 ; L. Martin, Évolution de la biométrie (*Bull. Inst. agron... Gembloux*, t. XVIII, 1948-1949).

القسم الثاني : الميكانيك وعلم الفلك

الميكانيك — E. Jouguet, *Lectures de mécanique*, t. II, Paris, 1909 ; E. Dühring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik*, 3e éd., Leipzig, 1887 ; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 7e éd., Leipzig, 1912 (trad. fr., Paris, 1904) ; P. Duhem, *L'évolution de la mécanique*, Paris, 1905 ; E. Borel, *L'évolution de la mécanique*, Paris, 1943 ; R. Dugas, *Histoire de la mécanique*, Paris-Neuchâtel, 1950 ; M. Jammer, *Concepts of force*, Harv. Univ. Press, 1954 ; I. Todhunter, *A history of the theory of elasticity*, 2 vol., Cambridge, 1893.

علم الفلك — J. C. Houzeau et A. Lancaster, *Bibliographie générale de l'astronomie*, 3 vol., Bruxelles, 1882-1889 ; R. Grant, *History of physical astronomy*, London, 1852 ; A. Boillot, *L'astronomie au XIXe siècle*, Paris, 1873 ; C. André et G. Rayet, *L'astronomie pratique et les observatoires...*, 5 vol., Paris, 1874-1881 ; R. Wolf, *Geschichte der Astronomie*, München, 1877 ; A. M. Clerke, *History of astronomy during the 19th Century*, Edinburgh, 1885 ; R. S. Ball, *Great astronomers*, London, 1907 ; G. Bigourdan, *L'astronomie. Évolution des idées et des méthodes*, Paris, 1911 ; E. Doublet, *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1922 ; F. Boquet, *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1924 ; R. L. Waterfield, *A hundred years of astronomy*, New York, 1939 ; E. Zinner, *Geschichte der Sternkunde*, 2e éd., Berlin, 1943 ; G. Abetti, *Storia dell'astronomia*, Firenze, 1949 ; A. Armitage, *A century of astronomy*, London, 1950 ; P. Doig, *Concise history of astronomy*, London, 1950 ; F. Becker et E. Esclangon, *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1954.

H. C. King, *The history of telescope*, London, 1956 ; J. A. Repsold, *Zur Geschichte der astronomischer Messwerkzeuge*, 2 vol., Leipzig, 1908-1914 ; M. Daumas, *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, 1953 ; G. Bigourdan, *Histoire de l'astronomie d'observation et des observatoires en France*, 2 vol., Paris, 1918-1930 ; E. W. Maunder, *The Royal Observatory Greenwich*, London, 1900 ; D. Gill, *A history... of the Royal Observatory, Cap of Good Hope*, Edinburgh, 1913 ; W. I. Milham, *Early american observatories*, Williamstown, 1938 ; A. N. Dadaiev, *The Pulkovo Observatory*, Moscou, 1958.

A. Danjon et A. Couder, *Lunettes et télescopes*, Paris, 1935 ; R. Wolf, *Handbuch der Astronomie...*, 2 vol., München, 1891-1893 ; F. Brunnow, *Lehrbuch der sphärischen Astronomie*, 4e éd., Leipzig, 1881 ; F. Tisserand, *Traité de mécanique céleste*, 4 vol., Paris, 1889-1896 ; F. R. Helmert, *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie*, 2 vol., Berlin, 1880-1884 ; Ch. André, *Traité d'astronomie stellaire*, 2 vol., Paris, 1899-1900 ; S. Newcomb, *A compendium of spherical astronomy*, London, 1906 ; F. R. Moulton, *Celestial mechanics*, London, 1919 ; L. Ambronn, *Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde*, 2 vol., Berlin, 1899 ; Ch. Lallemand, Les marées de l'écorce et l'élasticité du globe terrestre (*Annuaire du bureau des Longitudes*, 1910) ; H. F. Weaver, The development of astronomical photometry (*Popular astronomy*, 1946, *54*). Monographies sur Herschel (E. S. Holden, New York, 1881 ; J. B. Sidwick, London, 1955) ; Le Verrier (J. Bertrand et F. Tisserand, *Annales de l'Observatoire de Paris, Mémoires*, t. XV, 1880).

القسم الثالث : العلوم الفيزيائية

الفيزياء بوجه عام — W. F. Magie, *A source book in physics*, New York, 1935 ; R. Massain, *Physique et physiciens*, 2e éd., Paris, 1950 ; J. C. Poggendorff, *Geschichte der Physik*, Leipzig, 1879 (trad. fr., 1883) ; F. Rosenberger, *Die Geschichte der Physik*, 3 vol., Braunschweig, 1882-1890 ; M. Marie, *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, vol. X à XII, Paris, 1887-1888 ; P. Tannery (*in* Lavisse et Rambaud, *Histoire générale*, t. X, Paris, 1893) ; E. Gerland, *Geschichte der Physik*, München, 1913 ; A. Macfarlane, *Lectures on ten british physicists of the nineteenth century*, New York, 1919 ; E. Hoppe, *Geschichte der Physik*, Braunschweig, 1926 (trad. fr., Paris, 1928) ; F. Cajori, *History of physics*, 2e éd., New York, 1929 ; H. Volkringer, *Les étapes de la physique*, Paris, 1929 ; P. Schurmann, *Historia de la fisica*, Montevideo, 1936 ; A. Einstein et L. Infeld, *L'évolution des idées en physique*, trad. fr., Paris, 1938 ; J. Jeans, *L'évolution des sciences physiques*, trad. fr., Paris, 1950 ; G. Urbain et M. Boll, éd., *La science, ses progrès, ses applications*, t. I, 2e éd., Paris, 1950 ; A. Wilson, *A hundred years of physics*, London, 1950 ; Ch. Brunold, *Histoire abrégée des théories physiques concernant la matière et l'énergie*, Paris, 1952.

E. Gerland et F. Traumüller, *Geschichte der physikalischen Experimentierkunst*, Leipzig, 1899 ; H. Dingler, *Das Experiment, sein Wesen und seine Geschichte*, München, 1928 ; P. Duhem, *La théorie physique*, Paris, 1906 ; J. Pelseneer, *L'évolution de la notion de phénomène physique*, Bruxelles, 1947 ; G. Bachelard, *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, 1951 ; E. B. Burt, *The metaphysical foundations of modern physical science*, London, 2e éd., 1954.

البصريات — E. Verdet, *Leçons d'optique physique*, 2 vol., Paris, 1869-1870 ; D.N. Mallik, *Optical theories*, 2e éd., Cambridge, 1917 ; E. Hoppe, *Geschichte der Optik*, Leipzig, 1926 ; C. Pla, *El enigma de la luz*, Buenos Aires, 1949 ; E. Mach, *The principles of physical optics*, 2e éd., New York, 1953 ; V. Ronchi, *Histoire de la lumière*, trad. fr., Paris, 1956 ; E. T. Whittaker, *A History of the theories of aether and electricity*, 2e éd., 2 vol., London, 1951-1953 ; C. E. Papanastassiou,

Les théories sur la nature de la lumière..., Paris, 1935 ; A.N. Disney, C. F. Hill et W. E. Watson, *Origin and development of the microscope*, London, 1928 ; R. S. Clay et T. H. Court, *History of the microscope*, London, 1932 ; M. Rooseboom, *Microscopium*, Leiden, 1956 ; M. von Rohr, *Theorie und Geschichte des photographischen Objectivs*, Berlin, 1899 ; G. Potonniée, *Histoire de la découverte de la photographie*, Paris, 1925 ; J. M. Eder, *History of photography*, New York, 1945 ; R. Lécuyer, *Histoire de la photographie*, Paris, 1945 ; H. et A. Gernsheim, *The history of photography*, London, 1955 ; Id., *L. M. J. Daguerre*, New York, 1959. Monographies sur Young (A. Wood, Cambridge, 1954) ; Fresnel (*Revue d'Optique*, 1927) ; Arago (M. Daumas, Paris, 1943) ; Bunsen (G. Lockemann, Stuttgart, 1949) ; Maxwell (J. G. Crowther, Paris, 1948).

الكهرباء والمغناطيسية — W. D. Weaver, *Catalogue of the Wheeler gift of books...*, 2 vol., New York, 1909 ; E. Sartiaux et M. Aliamet, *Principales découvertes et publications concernant l'électricité...*, Paris, 1903 ; P. F. Mottelay, *Bibliographical history of electricity and magnetism*, London, 1922 ; *Collection de mémoires sur la physique*, 8 vol., Paris, 1889-1891 ; E. Hoppe, *Geschichte der Elektrizitat*, Leipzig, 1884 ; W. Bragg, *The story of electromagnetism*, London, 1941 ; E. Bauer, *L'électromagnétisme hier et aujourd'hui*, Paris, 1949 ; M. Gliozzi, *L'elettrologia fine al Volta*, Naples, 1937 ; E. T. Whittaker, *A history of the theories of aether and electricity*, 2e éd., 2 vol., London, 1951-1953 ; O. Fröhlich, *Die Entwicklung der elektrischen Messungen*, Braunschweig, 1905 ; R. Appleyard, *Pioneers of electrical communications*, London, 1930 ; M. F. O' Reilly et J. J. Walsh, *Makers of electricity*, New York, 1909 ; D. M. Turner, *Makers of science : electricity and magnetism*, Oxford, 1927. Monographies sur Volta (G. Polvani, Pise, 1942 ; A. Mieli, Buenos Aires, 1944) ; Ampère (L. de Launay, Paris, 1925) ; Ørsted (G. Hauch, Spandau, 1853) ; Faraday (T. Martin, London, 1949 ; J. P. Kendall, London, 1955) ; J. Henry (Th. Coulson, Princeton, 1950) ; W. Thomson (S. P. Thomson, London, 1910) ; Maxwell (*Commemoration Volume*, Cambridge, 1931) ; J. J. Thomson (Lord Rayleigh, Cambridge, 1946).

الحرارة والترموديناميك — E. Mach, *Die Principien der Warmelehre*, 2e éd., Leipzig, 1900 ; L. Rosenfeld, La genèse des principes de la thermodynamique (*Bul. Soc. roy. des Sci. de Liège*, 1941, *10*, pp. 197-212) ; K. Meyer, *Die Entwicklung des Temperaturbegriffs*, Braunschweig, 1913 ; G. Bachelard, *Étude sur l'évolution d'un problème de physique : la propagation thermique dans les solides*, Paris, 1928 ; M. Planck, *Das Prinzip der Erhaltung der Energie*, Leipzig, 1887 ; G. Helm, *Die Energetik nach ihrer geschichtlichen Entwicklung*, 1898 ; W. L. Hardin, *The rise and development of the liquefaction of gases*, New York, 1899 ; R. Pictet, *Evolution des procédés concernant la séparation de l'air atmosphérique en ses éléments*, Genève, 1914. Monographies sur Carnot (G. Mouret, Paris, 1892 ; E. Ariès, Paris, 1920) ; Mayer (B. Hell, Stuttgart, 1925) ; Joule (O. Reynolds, Manchester, 1892 ; A. Wood, London, 1923) ; Helmholtz (L. Königsberger, Braunschweig, 1902) ; Boltzmann (E. Broda, Vienne, 1955 ; R. Dugas, Paris, 1959) ; Gibbs (L. Ph. Wheeler, New Haven, 1951).

الكيمياء — H. M. Leicester et H. S. Klickstein, *A source book in chemistry, 1400-1900*, New York, 1952 ; R. Massain, *Chimie et chimistes*, Paris, 1951 ; H. C. Bolton, *Select bibliography of chemistry, 1492-1892*, Washington, 1893 (2 suppl., 1899 et 1904) ; J. Ferguson, *Bibliotheca chemica...*, 2 vol., Glasgow, 1906 ; D. L. Duveen, *Bibliotheca alchemica et chemica*, London, 1949. F. Hoefer, *Histoire de la chimie*, 2 vol., Paris, 1866-1869 ; H. Kopp, *Die Entwicklung der Chemie...*, München, 1873 ; A. Ladenburg, *Histoire du développement de la chimie*, trad. fr., Paris, 1909 ; W. Ostwald, *L'évolution d'une science : la chimie*, trad. fr., Paris, 1909 ; E. Thorpe, *History of chemistry*, 2 vol., New York, 1909-1910 ; E. von Meyer, *Geschichte der Chemie*, 4e éd., Leipzig, 1914 ; M. Delacre, *Histoire de la chimie*, Paris, 1920 ; R. Meyer, *Vorlesungen über die Geschichte der Chemie*, Leipzig, 1922 ; A. Kirrmann, *La chimie d'hier et d'aujourd'hui*, Paris, 1928 ; G. Bugge, éd., *Das Buch der grossen Chemiker*, 2 vol., Berlin, 1929-1930 ; H. Metzger, *La chimie*, Paris, 1930 ; A. Findlay, *A hundred years of chemistry*, 2e éd., New York, 1948 ; J. R. Partington, *A short history of chemistry*, London, 1948 ; A. J. Berry, *Modern chemistry...*, Cambridge, 1948 ; H. E. Fierz-David, *Die Entwicklungsgeschichte der Chemie*, 2e éd., Bâle, 1952 ; H. M. Leicester, *The historical background of chemistry*, New York, 1956.

A. Wurtz, *La théorie atomique*, Paris, 1904 ; J. Perrin, *Les atomes*, Paris, 1920 ; P. Kirchberger, *Die Entwicklung der Atomtheorie*, Karlsruhe, 1926 ; J. C. Gregory, *A short history of atomism*, London, 1931 ; G. Bachelard, *Les intuitions atomistiques*, Paris, 1932 ; M. E. Weeks, *Discovery of the elements*, 5e éd., Easton, 1945 ; W. Ramsay, *The gases of the atmosphere...*, 3e éd., London, 1905 ; W. Ostwald, *Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre*, Leipzig, 1896 ; M. Berthelot, *La synthèse chimique*, Paris, 1875 ; J.-B. Dumas, *Leçons sur la*

philosophie chimique, Paris, 1878 ; E. GRIMAUX, *Théories et notations chimiques*, Paris, 1884 ; C. SCHORLEMMER, *The rise and development of organic chemistry*, London, 1894 ; E. HJELT, *Geschichte der organischen Chemie*, Braunschweig, 1916 ; C. GRAEBE, *Geschichte der organischen Chemie*, Berlin, 1920 ; E. O. von LIPPMANN, *Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie 1500-1890*, Berlin, 1921 ; F. LIEBEN, *Geschichte der physiologischen Chemie*, Leipzig, 1935 ; Ch. A. BROWNE, *Source book on agricultural chemistry*, Waltham (Mass.), 1944 ; A. MITTASCH, *Kurze Geschichte der Katalyse*, Berlin, 1932 ; A. et N. CLOW, *The chemical revolution*, London, 1952 ; G. BACHELARD, *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*, Paris, 1932 ; W. PRANDTL, *Deutsche Chemiker in der ersten Hälfte der neunzehnten Jahrhunderts*, Weinheim, 1956.

Biographies de Avogadro (I. GUARESCHI, Bâle, 1903) ; Berzelius (W. PRANDTL, Stuttgart, 1948) ; Dalton (F. M. BROCKBANK, Manchester, 1944) ; Davy (J. G. CROWTHER, Paris, 1939) ; Gerhardt (E. GRIMAUX, Paris, 1900) ; Laurent (C. de MILT, *Chymia*, IV, 1953); Liebig (R. BLANCK, Berlin, 1938) ; Mendéléev (D. Q. POSIN, New York, 1948) ; Berthelot (A. BOUTARIC, Paris, 1947); Van't Hoff (E. J. COHEN, Leipzig, 1912) ; Gibbs (L. Ph. WHEELER, New Haven, 1951).

القسم الرابع : علوم الأرض

علم المعادن — F. von KOBELL, *Geschichte der Mineralogie, 1650-1860*, München, 1864 ; H. METZGER, *La genèse de la science des cristaux*, Paris, 1918 ; P. von GROTH, *Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften*, Berlin, 1926 ; A. TERTSCH, *Das Geheimnis der Kristallwelt*, Wien, 1947 ; A. LACROIX, Ch. MAUGUIN et J. ORCEL, René-Just Haüy (*Bul. Soc. franç. de Minér.*, t. 67, 1944) ; R. HOOYKAAS, *La naissance de la cristallographie en France au XVIII^e siècle*, Paris, 1953.

الجيولوجيا — K. F. MATHER et S. L. MASON, *A source book in geology*, New York, 1939 ; E. de MARGERIE, *Catalogue des bibliographies géologiques*, Paris, 1896 ; ID., *Critique et géologie*, 4 vol., Paris, 1943-1948 ; K. A. von ZITTEL, *History of geology and palaeontology...*, London, 1901 ; A. GEIKIE, *The founders of geology*, 2^e éd., London, 1905 ; S. MEUNIER, *L'évolution des théories géologiques*, Paris, 1911 ; L. de LAUNAY, *La science géologique*, 3^e éd., Paris, 1922 ; F. D. ADAMS, *The birth and development of the geological sciences*, Baltimore, 1938 ; C. C. BERINGER, *Geschichte der Geologie und der geologischen Weltbildes*, Stuttgart, 1954 ; H. HÖLDER, *Geologie und Paläontologie in Texten und ihrer Geschichte*, Freiburg-München, 1960.

A. d'ARCHIAC, *Histoire des progrès de la géologie de 1834 à 1845*, 8 vol., Paris, 1847-1860 ; L. ÉLIE DE BEAUMONT, *Rapport sur les progrès de la stratigraphie*, Paris, 1869 ; Ch. DAVISON, *The founders of seismology*, Cambridge, 1927 ; G. PERRIER, *Petite histoire de la géodésie*, Paris, 1939 ; Ø. OLSEN, *La conquête de la Terre*, 6 vol., Paris, 1933-1937 ; F. E. ZEUNER, *Dating the Past. A introduction to geochronology*, New York, 1956 ; Ch. C. GILLISPIE, *Genesis and geology*, Harv. Univ. Press, 1951 ; G. SARTON, La synthèse géologique de 1775 à 1918 (*Isis*, II, 1919, pp. 357-94). Monographies sur Lyell (K. M. LYELL, London, 1881) ; Élie de Beaumont (Ch. SAINTE-CLAIRE DEVILLE, Paris, 1876 ; P. FALLOT, *Annales des Mines*, 1934) ; Constant Prévost (J. GOSSELET, Lille, 1896).

H. B. WOODWARD, *The history of the Geological Society of London*, London, 1937 ; P. MERRILL, Contributions to the History of American Geology (*Report of the United States National Museum for 1904*, Washington, 1906, pp. 189-734) ; H. LE ROY FAIRCHILD, The Geological Society of America (1888-1930)... (*Publ. Geol. Soc. Amer.*, 1932).

القسم الخامس : علوم الحياة

دراسات عامّة — G. CUVIER, *Rapport historique sur le progrès des sciences naturelles*, Paris, 1810 ; ID., *Histoire des sciences naturelles*, 5 vol., Paris, 1831-1845 ; H. de BLAINVILLE, *Histoire des sciences de l'organisation*, 3 vol., Paris, 1845 ; E. RÁDL, *Geschichte der biologischen Theorien*, 2 vol., Leipzig, 1905-1909 (2^e éd., t. I, 1913 ; adapt. angl. du t. II, New York, 1930) ; B. GRASSI, *I progressi della biologia*, Rome, 1911 ; W. A. LOCY, *Biology and its makers*, 3^e éd., London 1915 ; ID., *The growth of biology*, London, 1925 ; J. SCHAXEL, *Grundzüge der Theorienbildung in der Biologie*, 2^e éd., Iéna, 1922 ; E. NORDENSKIÖLD, *The history of biology*, New York, 1928 ; L. AMBARD, *La biologie*, Paris, 1930 ; E. B. ALMQUIST, *Grosse Biologen*, München, 1931 ; F. BOURLIÈRE, *Éléments d'un guide bibliographique du naturaliste*, Paris, 1939 ; J. ROSTAND, *Esquisse d'une histoire de la biologie*, Paris, 1945 ; ID., *Les grands courants de la biologie*, Paris,

1951 ; Id., *Aux sources de la biologie*, Paris, 1958 ; M. Nowikoff, *Grundzüge der Geschichte der biologischen Theorien*, München, 1949 ; A. Meyer-Abich, *Biologie der Goethezeit*, Stuttgart, 1949 ; B. Dawes, *A hundred years of biology*, London, 1952 ; *A Century of progress in the natural sciences, 1853-1953*, Calif. Ac. of Sci., San Francisco, 1955 ; F. S. Bodenheimer, *The history of biology*, London, 1958 ; Ch. Singer, *A history of biology*, 3e éd., London, 1959 ; W. Engelmann, *Bibliotheca historico-naturalis* ; t. I, Leipzig, 1861 (t. II et III, 1923).

علم الخلايا . علم الأنسجة — M. Klein, *Histoire des origines de la théorie cellulaire*, Paris, 1936 ; Id., Sur les débuts de la théorie cellulaire en France (*Thalès*, 1949-1950) ; L. Aschoff, E. Küster et W. J. Schmidt, *Hundert Jahre Zellforschung*, Berlin, 1938 ; J. R. Baker, The cell-theory, a restatement, history and critique (*Quart. journ. microsc. Soc.*, t. 89-94, 1948-1953) ; A. Hughes, *History of cytology*, London, 1959. Monographies sur Schwann (M. Florkin, Paris, 1960) ; Purkyně (B. Němec, O. Matoušek, Prague, 1955 ; H. J. John, Philadelphie, 1959).

علم الحيوان — T. S. Hall, *A source book in animal biology*, New York, 1951 ; V. Carus et W. Engelmann, *Bibliotheca zoologica*, Leipzig, 1887-1923 ; H. Milne-Edwards, *Rapport sur les progrès récents de la zoologie en France*, Paris, 1867 ; J. V. Carus, *Histoire de la zoologie*, trad. fr., Paris, 1880 ; R. Burckhardt et H. Erhard, *Geschichte der Zoologie*, 2 vol., Leipzig, 1921 ; H. Daudin, *De Linné à Lamarck. Méthode de la classification et idée de série en botanique et en zoologie (1740-1790)*, Paris, 1926 ; F. J. Cole, *History of protozoology*, London, 1926 ; F. S. Bodenheimer, *Materialen zur Geschichte der Entomologie*, 2 vol., Berlin, 1928-1929 ; E. O. Essig, *A history of entomology*, New York, 1931 ; Id., Sketch history of entomology (*Osiris*, II, 1936) ; C. A. Wood, *An introduction to the literature of vertebrate zoology*, London, 1931 ; J. Anker, *Bird books and birt art*, Copenhague, 1938 ; S. Sitwell, H. Buchanan, J. Fischer, *Fine bird books, 1700-1900*, New York, 1953 ; M. Boubier, *L'évolution de l'ornithologie*, Paris, 1925 ; E. Stresman, *Die Entwicklung der Ornitologie*, Berlin, 1951 ; C. Nissen, *Die illustrierten Vogelbücher...*, Stuttgart, 1953 ; K. Semper, *Animal Life*, New York, 1881 ; Ch. B. Davenport, *Experimental morphology*, 2 vol., New York, 1897-1899 ; E. Newton Harvey, *A history of luminescence...*, Philadelphie, 1957 ; Sir W. A. Herdman, *Founders of oceanography...*, London, 1923 ; *H. C. Bronn's Klassen und Ordnungen der Tierreichs*, Leipzig à partir de 1866. P.-P. Grassé, éd., *Traité de zoologie*, Paris, à partir de 1948.

علم النبات والبيولوجيا النباتية G. A. Pritzel, *Thesaurus literaturae botanicae* nouv. éd., Leipzig, 1872-1877 ; B. D. Jackson, *Guide to the literature of botany*, London, 1881 ; F. Hoefer, *Histoire de la botanique*, Paris, 1872 ; J. Sachs, *Histoire de la botanique*, trad. fr., Paris, 1882 ; J. R. Green, *History of botany, 1860-1900*, Oxford, 1909 ; R. J. Harvey-Gibson, *Outlines of the history of botany*, London, 1919 ; M. Möbius, *Geschichte der Botanik*, Iéna, 1937 ; H. S. Reed, *A short history of the plant sciences*, Waltham, Mass., 1934 ; J. Costantin, *Aperçu des progrès de la botanique depuis cent ans*, Paris, 1934 ; R. Combes, *Histoire de la biologie végétale en France*, Paris, 1933 ; A. Davy de Virville, éd., *Histoire de la botanique en France*, Paris, 1954 ; F. W. Oliver, *Makers of british botany*, Cambridge, 1913 ; F. O. Bower, *Sixty years of botany in Britain (1875-1935)*, London, 1938 ; R. E. Fries, *A short history of botany in Sweden*, Uppsala, 1950 ; F. Verdoorn, éd., *Plant and plant science in Latin America*, Waltham, Mass., 1945.

E. L. Core, *Plant taxonomy*, Prentice-Hall, 1935 ; Th. Schmucker et G. Linnemann, Geschichte der Anatomie des Holzes (*in* H. Freund, *Handbuch der Mikroskopie*, 1951) ; P. Vuillemin, *Les champignons*, Paris, 1912 ; J. F. Leroy, *Histoire de la notion de sexe chez les plantes*, Paris, 1960 ; R. P. Wodehouse, *Pollen grains*, New York, 1935 ; R. Souèges, *L'embryologie végétale*, Paris, 1934 ; Ch. Flahault, Les progrès de la géographie botanique depuis 1884... (*Progressus Rei Botanicae*, I, 1907, pp. 242-317). Études sur Humboldt (E. Banse, Stuttgart, 1953 ; H. Beck, Berlin, 1959).

علم البكتيريا - F. Loeffler, *Vorlesungen über die geschichtliche Entwicklung der Lehre von den Bacterien*, I, Leipzig, 1887 ; W. Bullock, *The history of bacteriology*, London, 1938 ; W. W. Ford, *Bacteriology*, New York, 1939 ; J. Rostand, *La genèse de la vie. Histoire des idées sur la génération spontanée*, Paris, 1943 ; *The Pasteur fermentation centennial, 1857-1957*, New York, 1958. Études sur Bassi (L. Belloni, Milan, 1956) ; Koch (R. Bochalli, Stuttgart, 1954) ; Lister (R. J. Godlee, London, 1918) ; Pasteur (E. Duclaux, Paris, 1896 ; R. J. Dubos, London, 1951, trad. fr., Paris, 1955 ; J. Nicolle, Paris, 1953).

الفيزيولوجيا الحيوانية — J. F. Fulton, *Selected readings in the history of physiology*, Springfield, 1930 ; H. Boruttau, Geschichte der Physiologie (*in* Th. Puschmann, *Handbuch der Geschichte der Medizin*, t. II, Iéna, 1903) ; K. J. Franklin, *Short history of physiology*, London, 1949 ;

K. E. ROTHSCHUH, *Geschichte der Physiologie*, Berlin-Heidelberg, 1953 ; Cl. BERNARD, *Rapport sur les progrès et la marche de la physiologie générale en France*, Paris, 1867 ; Ch. M. C. BROOKS et P. F. CRANEFIELD, éd., *The historical development of physiological thought*, New York, 1959 ; E. BASTHOLM ; *History of muscle physiology*, Copenhague, 1950 ; J. F. FULTON, *Physiologie des lobes frontaux et du cervelet*, tr. fr., chap. I et VIII, Paris, 1953 ; F. N. L. POYNTER, éd., *The history and philosophy of knowledge of the brain and its functions*, Springfield, 1958 ; F. FEARING, *Reflex action. A study in the history of physiological psychology*, Baltimore, 1930 ; E. G. T. LIDDELL, *The discovery of reflexes*, Oxford, 1960 ; H. D. ROLLESTON, *The endocrine organs in health and disease, with an historical review*, Oxford, 1936 ; G. CANGUILHEM, Pathologie et physiologie de la thyroïde au XIX^{e} siècle (*Thalès*, t. IX, Paris, 1959). Monographies sur Magendie (J. M. D. OLMSTED, New York, 1944) ; Claude Bernard (L. DELHOUME, Paris, 1939 ; R. MILLET, Paris, 1945 ; J. M. D. OLMSTED, New York, 1949) ; Carl Ludwig (G. ROSEN, *Bul. Inst. Hist. Med.*, *4*, 1936).

علم التشريح المقارن وإحالة الفقريات — P. FLOURENS, *Analyse raisonnée des travaux de Georges Cuvier*, Paris, 1841 ; ID., *De l'unité de composition et du débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire*, Paris, 1865 ; I. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, *Vie, travaux et doctrine scientifique d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire*, Paris, 1847 ; L. VIALLETON, *Un problème de l'évolution. La théorie de la récapitulation des formes ancestrales au cours du développement embryonnaire*, Paris, 1908 ; H. F. OSBORN, *The age of Mammals*, New York, 1910 ; E. S. RUSSELL, *Form and fonction. A contribution to the history of animal morphology*, London, 1916 ; H. DAUDIN, *Cuvier et Lamarck. Les classes zoologiques et l'idée de série animale (1720-1830)*, 2 vol., Paris, 1926 ; R. BERTHELOT, Lamarck et Gœthe : l'évolutionnisme de la continuité au début du XIX^{e} siècle (*Rev. Méta. et Mor.*, *36*, 1929) ; J. VIÉNOT, *Cuvier*, Paris, 1932 ; F. J. COLE, *A history of comparative anatomy from Aristotle to the eigthteenth century*, London, 1944 ; G. G. SIMPSON, *Tempo and mode in evolution*, New York, 1944 ; J. PIVETEAU, Le débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire sur l'unité de plan et de composition (*Rev. Hist. Sci.*, *3*, 1950) ; P. de SAINT-SEINE, Les fossiles au rendez-vous du calcul (*Cong. int. Philos. Sci.*, VII, Paris, 1951) ; F. MEYER, *Problématique de l'évolution*, Paris, 1957.

التوالد الحيواني — F. J. COLE, *Early theory of sexual generation*, Oxford, 1930, J. ROSTAND ; *La formation de l'être, histoire des idées sur la génération*, Paris, 1930 ; ID., *La parthénogenèse animale*. Paris, 1950 ; A. N. MEYER, *The rise of embryology*, Stanford, 1939 ; A. N. MEYER, *Human generation...*, Stanford, 1956 ; J. NEEDHAM, *A history of embryology*, 2^{e} éd., Cambridge 1959.

الارتقاء — E. O. SCHMIDT, *The doctrine of descent and darwinism*, London, 1875 ; A. de QUATREFAGES, *Darwin et ses précurseurs français*, 2^{e} éd., Paris, 1892 ; ID., *Les émules de Darwin*, Paris, 1894 ; E. PERRIER, *La philosophie zoologique avant Darwin*, 3^{e} éd., Paris, 1896 ; E. CLODD, *Pioneers of evolution*, London, 1897 ; G. FENIZIA, *Storia della evoluzione*, Milan, 1901 ; H. PEMBERTON, *The path of evolution*, Philadelphie, 1902 ; Y. DELAGE, *L'hérédité et les grands problèmes de la biologie générale*, 2^{e} éd., Paris, 1903 ; H. F. OSBORN, *From the Greeks to Darwin*, 2^{e} éd., New York, 1929 ; J. ROSTAND, *L'évolution des espèces*, Paris, 1932 ; ID., *L'atomisme en biologie*, Paris, 1956 ; C. ZIRKLE, *Natural selection before the « Origin of species »*, Philadelphie, 1941 ; *Early history of the idea of inheritance of acquired characters and of pangenesis*, Philadelphie, 1946 ; P. OSTOYA, *Histoire des théories de l'évolution*, Paris, 1951 ; G. SCHNEIDER, *Die Evolutionstheorie...*, Berlin, 1951 ; P. G. FOTHERGILL, *Historical aspect of organic evolution*, London, 1952 ; W. ZIMMERMANN, *Evolution. Die Geschichte ihrer Probleme und Erkenntnisse*, München, 1953 ; G. S. CARTER, *A hundred years of evolution*, London, 1957 ; L. EISELEY, *Darwin's century*, New York, 1958 ; H. G. CANNON, *The evolution of living things*, Manchester, 1958 ; S. A. BARNETT, éd., *A century of Darwin*, London, 1958 ; G. HIMMELFARB, *Darwin and the darwinian evolution*, New York, 1959 ; B. GLASS, O. TEMKIN, W. L. STRAUS, éd., *Forerunners of Darwin. 1745-1859*, Baltimore, 1959 ; F. C. HABER, *The age of the world. Moses to Darwin*, Baltimore, 1959 ; Lamarck et Darwin (*Revue d'Histoire des sciences*, *13*, 1, 1960). Monographies sur Lamark (M. LANDRIEU, Paris, 1908 ; E. PERRIER, Paris, 1925) ; Darwin (M. PRENANT, Paris, 1947 ; J. ROSTAND, Paris, 1947 ; J. HUXLEY et J. FISHER, New York, 1939 ; R. MOORE, London, 1957).

علم الوراثة — H. F. ROBERTS, *Plant hybridization before Mendel*, Princeton, 1929 ; C. ZIRKLE, *The beginnings of plant hybridisation*, Philadelphie, 1935 ; ID., The knowledge of heredity before 1900 (*in* L. C. DUNN, éd., *Genetics in the 20th Century*, New York, 1951). Monographies sur Mendel (H. ILTIS, Berlin, 1924 ; I. KRUMBRIEGEL, Stuttgart, 1957).

قبل التاريخ البشري — G. et A. MORTILLET, *La préhistoire*, Paris, 1903 ; A. CHEYNIER, *Jouannet...*, Brive, 1936 ; L. AUFRÈRE, *Essai sur les premières découvertes de Boucher de Perthes...*,

Paris, 1939 ; W. E. MUEHLMANN, *Geschichte der Antropologie*, Bonn, 1948 ; A. C. HADDON, *History of anthropology*, London, 1949 ; G. E. DANIEL, *A hundred years of archaeology*, London, 1950 ; COLIN-SIMARD, *Découverte archéologique de la France*, Paris, 1955 ; M. BOULE et H. V. VALLOIS, *Les hommes fossiles*, 4e éd., Paris, 1952 ; R. FURON, *Manuel de préhistoire générale*, 4e éd., Paris, 1958.

الطب — L. CLENDENING, *Source book in medical history*, New York, 1942 ; E. BRODMAN. *The development of medical bibliography*, Baltimore, 1954 ; L. T. MORTON, *Garrison and Morton's medical bibliography*, 2e éd., London, 1954.

K. SPRENGEL, *Histoire pragmatique de la médecine*, trad. fr., 2 vol., Paris, 1809; Ch. V. DAREMBERG, *Histoire des sciences médicales*, 2 vol., Paris, 1870; E. BOUCHUT, *Histoire de la médecine*, 2 vol., Paris, 1873 ; M. NEUBURGER, éd., *Handbuch der Geschichte der Medizin*, 3 vol., Iéna, 1901-1905 ; L. MEUNIER, *Histoire de la médecine*, Paris, 1911 ; A. H. BUCK, *The dawn of modern medicine*, New Haven, 1920 ; Th. MEYER-STEINEG et K. SUDHOFF, *Geschichte der Medizin*, 3e éd., Iéna, 1928 ; F. H. GARRISON, *Introduction to the history of medicine*, 4e éd., Philadelphie, 1929 ; R. DUMESNIL, *Histoire illustrée de la médecine*, Paris, 1935 ; M. LAIGNEL-LAVASTINE, éd., *Histoire générale de la médecine...*, 3 vol., Paris, 1936-1949 ; W. E. B. LLOYD, *A hundred years of medicine*, London, 1936 ; D. GUTHRIE, *A history of medicine*, London, 1945 ; A. CASTIGLIONI, *Storia della medicina*, nouv. éd., 2 vol., Vérone, 1947 (trad. fr., Paris, 1931) ; A. PAZZINI, *Storia della medicina*, 2 vol., Milan, 1947 ; C. C. METTLER, *History of medicine*, Philadelphie, 1947 ; R. H. SHRYOCK, *The development of modern medicine...*, New York, 1947 (trad. fr., Paris, 1956) ; W. ARTELT, *Einführung in die Medizinhistorik*, Stuttgart, 1949 ; P. DIEPGEN, *Geschichte der Medizin*, 2 vol. en 3 t., Berlin, 1949-1955 ; E. MAY, *La médecine*, Paris, 1954 ; R. H. MAJOR, *A history of medicine*, 2 vol., Springfield, 1954 ; P. LAIN-ENTRALGO, *Historia de la medicina*, Barcelone, 1954 ; E. H. ACKERKNECHT, *A short history of medicine*, New York, 1955 ; W. LEIBBRAND, *Die spekulative Medizin der Romantik*, Hamburg, 1956 ; P. ASTRUC, La médecine au XIXe siècle (*Le progrès médical*, 1957-1958).

A. HIRSCH, *Biographisches Lexikon der hervorragenden Aertze...*, 6 vol., Vienne, 1884-1888 (nouv. éd., 6 vol., Berlin, 1929-1935) ; J. L. PAGEL, *Biographisches Lexikon hervorragender Aertze des neunzehnten Jahrhunderts*, Berlin, 1900 ; *Biographies médicales*, Paris, 1927-1933 ; H. E. SIGERIST, *Grosse Aertze*, Leipzig, 1936 ; R. DUMESNIL, éd., *Les médecins célèbres*, Paris, 1947.

S. W. MITCHELL, *The early history of instrumental precision in medicine*, New Haven, 1892 ; Ch. ACHARD, *Nouveaux procédés d'exploration*, Paris, 1903 ; H. GOCHT, *Die Röntgen Literatur*, 2 vol., Stuttgart, 1911-1912 ; O. GLASSER éd., *The science of radiology*, Springfield, 1933 ; J. ROCHARD, *Histoire de la chirurgie*, Paris, 1875 ; P. LECÈNE, *Histoire de la chirurgie*, Paris, 1923 ; R. A. LEONARDO, *History of surgery*, New York, 1943 ; Th. E. KEYS, *The history of surgical anaesthesia...*, New York, 1945 ; C. E. WINSLOW, *The conquest of epidemic diseases*, Princeton, 1943 ; W. E. HAYMAKER, *The founders of neurology*, Springfield, 1953 ; E. H. ACKERKNECHT, *Kurze Geschichte der Psychiatrie*, Stuttgart, 1957 ; J. B. HERRICK, *A short history of cardiology*, Springfield, 1942 ; W. A. PUSEY, *The history of dermatology*, Springfield, 1933 ; R. A. LEONARDO, *History of gynecology*, New York, 1944 ; M. BOUVET, *Histoire de la pharmacie en France*, Paris, 1937 ; P. BOUSSEL, *Histoire illustrée de la pharmacie*, Paris, 1947 ; E. KREMERS et G. URDANG, *History of pharmacy*, 2e éd., Philadelphie, 1951 ; H. DELAUNAY, *L'hygiène publique à travers les âges*, Paris, 1906 ; G. ROSEN, *A history of public health*, New York, 1958 ; A. NEWSHOLME, *The evolution of preventive medicine*, 2 vol., Baltimore, 1927-1929 ; R. SAND, *Vers la médecine sociale*, Liège, 1948.

القسم السادس

الحياة العلمية

إن الوصف الذي أعطيناه للتقدم العلمي الأكثر بروزاً والمتحقق عبر القرن التاسع عشر ، قد ألقى ضوءاً على الدور المهيمن الذي قامت به أوروبا الغربية بخلال هذه الحقبة من وضع أسس علمنا المعاصر . ان هذا التفوق الغربي، الأكثر جلاء مما كان عليه في القرون السابقة ، ينبع أساساً من السبق المهم الذي أحرزته الأمم الأوروبية ، في مجال التعليم والبحث العلمي ، ومن التفوق الأكيد في المجال السياسي والإقتصادي الذي حققته أوروبا بخلال هذه الحقبة . لقد ذكر العديد من مظاهر الحياة العلمية الغربية في الأقسام الأولى من هذا المجلد ، والفصل الموجز الذي نخصصه لها فيما يلي يضع هذه العناصر المختلفة في إطار أعم ، مما يتيح بالتالي تمييز العوامل المتنوعة التي أثرت ، باتجاهات مختلفة ، في مسار التقدم .

ولكن الى جانب الدول الغربية الكبرى ، حيث كانتْ ـ عبر أبعاد متنوعة ـ وتيرة التقدم تسير متسارعة بدون توقف ، رأى القرن التاسع عشر ولادة وتطور بؤرٍ جديدة للثقافة وللبحث العلمي ، سوف تتجاوز حيويتها ، بخلال القرن العشرين في كثير من المجالات ، حيوية الدول القديمة ، في أوروبا الغوبية . والمثلان الأكثر بروزاً ، هما روسيا والولايات المتحدة الاميركية ، وسوف يكونان موضوع دراستين قصيرتين مخصصتين أساساً لرسم المراحل الكبرى لهذا التطور ثم توضيح عناصره الأساسية .

إن الفصل التالي يذكر التدهور التدريجي للحياة العلمية في الدول الاسلامية ، بعد حقبة العظمة التي عرفتها بخلال القرن التاسع حتى القرن الثالث عشر . والنهضة التي انطلقت بخلال القرن التاسع عشر ، على أثر الإتصال العلمي بأوروبا سوف يذكر في المجلد اللاحق ، بذات الوقت مع الجهد الحاسم من أجل التجديد في القرن العشرين .

لقد رأينا في المجلد السابق أنه ، منذ القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر ، دخلت بعض

عناصر العلم الغربي الى الصين والى اليابان ، إنما دون أن تتمكن من الترسخ فيهما بثبات .

إن الفصل المخصص لتاريخ العلوم في هذين البلدين في القرن التاسع عشر سوف يدلنا على أن تطور الظروف السياسية ، قد أتاح انتشاراً أقوى وأوسع بكثير للعلم الحديث .

والحدث جلي بشكل خاص بالنسبة الى اليابان ، التي ـ منذ نهاية هذه الحقبة ـ أصبحت مركزاً مشعاً للعلم الناشط . لقد خضعت ، بآنٍ واحدٍ ، لتأثير أكبر حضارتين في آسيا الهندية والصينية ، وابتداء من القرن السابع عشر ـ وبشكل عارض واستطرادي ـ لتأثير العلم الغربي ، وعرفت فيتنام حياة علمية أصيلة ، بدت لنا ظروفها الخاصة وكأنها تؤهلها لدراسة قصيرة . إن التحولات الأساسية الحاصلة خلال الحقبة الاستعمارية سوف تعرض في المجلد التالي . ان الحياة العلمية في العديد من المناطق الأخرى ، خاصة في الهند ، وأميركا اللاتينية ، سوف تذكر أيضاً في المجلد المذكور ، مع النشاط العلمي في هذه البلدان بخلال القرن العشرين .

والاستنتاج الأكثر بروزاً الذي يرشح من هذه الدراسات المختلفة هو أنه ، منذ القرن التاسع عشر ، نشر العلم الغربي الحديث سيطرته ، بصورة متصاعدة ، على كل البلدان ذات الحضارة المتطورة نوعاً ما ، ان هذا الحدث سوف يتأكد ، بشكلٍ بارز واضح ، في القرن العشرين ، متحكماً الى حدٍ بعيد بنهضة البشرية بالذات .

الفصل الأول

ظروف التقدم العلمي في أوروبا الغربية

إن تحليلاً موضوعياً ومفصلاً للظروف وللأسباب العميقة لتفوّق العلم الغربي ، بخلال القرن التاسع عشر ، هو من الأكثر إفادة . ومثل هذا التحليل ، وان همَّ بآنٍ واحد ـ ولأسباب مكملة نوعاً ما ـ المتخصص بالتاريخ العام ، والمؤرخ للعلوم ، يقدم ، فعلاً ، عناصر مهمة للإعلام وللتفكير للمسؤولين عن السياسة العلمية من مختلف الأمم . وللأسف بقيت الجهود في هذا السبيل نادرة وتدل غالبيتها على عدم دقة كافية علمياً ، إذ أنها موسومة باهم الواضح الذي هو التأكيد على الأفكار المسبقة في أذهان مؤلفيها . ولا يمكننا إلا أن نأسف لأن الأداة الفخمة للتفاهم الدولي التي يجب أن يكونها تاريخ العلم تتحول أحياناً ، احتقاراً للموضوعية التاريخية ، الى حقل مغلق ، تتجابه فيه الأهواء القومية .

بالتأكيد ، لقد مضى الوقت الذي كان فيه البعض يناصرون أطروحة التفوق الجذري للأمم الغربية ، في مجال العلم وحيث كانت الحروب مناسبة لمناظرات معيبة بين علماء الأمم المتحاربة . ولكننا ما نزال بحاجة الى بذل جهد مهم في مجال التعاون الدولي ، من أجل التوصل الى موضوعية أكبر في إعادة تكوين وفي تقييم المراحل المتتالية لتطور الأفكار . ولكن من المؤكد على كل حال أن تعقيد الاحداث العلمية والعوامل ذات المناشيء المتنوعة التي أثرت في خلقها وتكوينها أو مسارها يُبقي دائماً المجال حراً لتأويلات متنافرة ، وان الحدث الفردي في الاكتشاف لن يكشف أبداً عن سره .

هذه الملاحظات لا تهدف الا إلى التذكير بالحذر الأقصى المتوجب الالتزام به في دراسات من هذا النمط ، هذا إذا لم تشأ هذه الدراسات أن تبقى مجرد ايضاحات لأطروحة « مسبقة » . ان عرضنا ، السريع جداً ، يقتصر على ملاحظات عامة وعلى بعض الإشارات الموجزة عن الوضع الخاص للبلدان الرئيسية .

I ـ أطر الجهد المشترك

نحو سياسةٍ للعلم .ـ ان الحدث الأساسي الذي وجه تطور العلم بخلال القرن التاسع عشر ، هو أن النشاط العلمي قد أصبح ـ بشكل واضح باستمرار ـ ظاهرة اجتماعية تثير بانعكاساتها المتنوعة ، اهتمام المسؤولين الأكثر بعد نظر . إن النتائج الأكيدة ، على الصعيد الصناعي ، للتقدم المحقق في مختلف قطاعات العلوم الفيزيائية ، والتأثير الواضح باستمرار للاكتشافات البيولوجية على الطب وتطوره ، ليسا الا مظهرين من المظاهر الأكثر بروزاً لهذا التأثير المتنامي للتقدم العلمي على شروط حياة البشرية . والتحقق من هذه الوقائع يجب أن يحمل الحكومات ، والإدارات الكبرى والمشاريع الصناعية الأكثر أهمية ، على وضع « سياسة علمية » حقة .

والفكرة لم تكن جديدة حقاً ، وإنشاء الأكاديميات الوطنية الأولى ، والمراصد الأولى الكبرى في القرن السابع عشر دلّ على وعيٍ متزايد للأهمية الاجتماعية للعلم . في عصر الأنوار قوي هذا التيار ، وفي حين أخذ جمهور متزايد يهتم بإنجازات العلم المشهودة ، كان الاستبداد المستنير ينمي نشاط الأكاديميات ، مع اطلاقه بحذر توسيع التعليم العالي والتقني . ورغم الموقف الواضح جداً الذي قام به الموسوعيون بهذا الشأن ، فإنه في أواخر القرن الثامن عشر فقط أخذ التفاعل بين التقدم العلمي والنهضة التقنية يتجلى بشكل أكيد . ووعت « الثورة الفرنسية » والحكومة الامبراطورية هذا الأمر ، ولهذا بذلتا جهوداً واسعة من أجل تحديث التعليم العلمي والتقني ، وشجعتا بقوة بعض البحوث ذات المآل المفيد . ومثل هذه الاصلاحات بدت لازمة بفعل الاتساع الدائم لحقل العلم وبفضل الأهمية المتزايدة التي ارتدتها الطرق التجريبية . إن مسألة اصلاح التعليم العلمي وأجهزة البحث قد بقيت ، منذ ذلك الحين ، تتجدد بدون توقف ، ذلك أن إعادة التنظيم الأكثر إتقاناً تعتق بسرعة وتسبقها وتيرة التقدم المتسارع .

إن الإصلاحات التي قامت بها « الثورة الفرنسية » ، واعتمدتها ، بأشكالٍ متنوعةٍ ، مختلف البلدان الأوروبية ، قد أتاحت ، بفضل دقرطة (تعميم) التربية الأساسية على القاعدة ، ثم اعتماد تعليم علمي حديث ، تكوين رجال علم أكثر عدداً ، وتقنيين مطلعين على الاكتشافات الأكثر حداثة . ولكن التقدم لم يكن ليتسارع حقاً إلا إذا استطاع الباحثون المميزون تكريس جلّ نشاطهم لأعمالهم . في النصف الأول من القرن ، أتاحت زيادة عدد منابر التعليم العالي ، القيام بجدارة بهذا المطلب ، وبشكل غير مباشر . إذ اطلق ظهور المختبرات الأولى المستقلة ، في آخر القرن ، حركة احتراف أكثر كمالاً لمهنة الباحث .

وأضيف الى هذا الجهد على الصعيد البشري جهد مقابل في التجهيز . واقتضت التقنية المتزايدة في البحوث ، والكمال المستمر في مناهج الإستقصاء ، نشر العديد من المجلات المتخصصة ومن المراجع البيبليوغرافية المفصلة ، وبناء شبكة من المراصد الحسنة التجهيز ، وإقامة مختبرات مزودة بتجهيزٍ هو الأحدث . وإذا كانت رعاية الأغنياء من محبي الثقافة قد استمرت تلعب دوراً مهماً في بعض البلدان ـ خاصة في بريطانيا ـ إلا أن ضخامة الجهد الواجب كانت من الأهمية بحيث اقتضت تقديم مساعدة مالية من الحكومات بشكل متزايد .

هذه السيطرة المتزايدة والمحتومة للسلطة العامة على التعليم وعلى البحث العلمي لم تكن تخلو من بعض المخاطر . فهي توشك أن تجرّ العلم بشكل خاص الى سياسة قصيرة النظر ، موجهة بشكل أساسي نحو البحوث المدرة آنياً ، أو أن تمنع بعض الأعمال المعتبرة خارجة على الاعراف . والواقع أنه بخلال القرن التاسع عشر لم تحدّ الشروط الجديدة المفروضة على نشاط العلماء من حريتهم الحقة . وعلى كل فقد زود التنظيم الرسمي للتعليم وللبحث بعض رجال العلم بسلطة إدارية واسعة جداً الأمر الذي أتاح لهم أحياناً توجيه مجمل الأعمال ، في قطاعاتٍ متنوعة توجيهاً جامداً ، وأحياناً وصل الأمر الى إلقاء الحظر على نظريات تخالف رأيهم الشخصي . والمصاعب التي اعترضت عظيمين من علماء الكيمياء الفرنسيين، لورانت وجيرهاردت ، في مواجهة عداء ج.ب. دوماس القوي ، وكذلك مثل م. برتيلوت الذي استطاع في الربع الاخير ـ القرن ، أن يخنق الأعمال المؤيدة للنظرية الذرية ، هذان المثلان يعتبران نموذجين بهذا الشأن .

تأييد الرأي العام . ـ كان الرأي العام ، مثل القادة السياسيين قد رأى منذ القرن الثامن عشر الإمكانات المفتوحة بفضل التقدم المستمر للعلم . وكان هذا الوعي أحد العوامل المسيطرة التي ساعدت على الإصلاحات التي قامت بها الثورة الفرنسية . في القرن التاسع عشر استمر العديد من الجمعيات الثقافية ومن المجلات ومن كتب تبسيط العلم ، في تغذية اهتمام الرأي العام بالمسائل العلمية ، وفي تبيين أهمية التقدم التقني الناشيء ، في بعض الاكتشافات الحديثة . إن الثورة الصناعية ، وتطور وسائل نقل جديدة ، والتوسع السريع في الاستفادة العملية من الكهرباء ، والنهضة السريعة في الكيمياء الصناعية ، واكتشاف الموارد الطبيعية والانجازات في الطب ، كل ذلك قوى الأمل برؤية التقدم العلمي ، في أساس التحسين العام لظروف معيشة البشرية . ان البرجوازية الصناعية ، في أوج ازدهارها لم تكن دائماً في طليعة هذا التيار ، ولكن ممثليها الأكثر وضوح رؤية فهموا أن التقدم التقني مرتبط بعد الآن إرتباطاً وثيقاً بتقدم العلم ، ان صوابية هذه الرؤى أثبتها الانتشار المدهش لا [illegible] الكيميائية الألمانية في النصف الثاني من القرن ، وذلك على أثر إقامة مختبرات قوية للبحث التطبيقي .

في مختلف البلدان ، فهم العلماء الأكثر قناعة بالأهمية الاجتماعية لنشاطهم ان الجهد الواسع في تعميم الانجازات العلمية الحديثة ، يتيح اثارة الرأي العام حول أهمية أعمال البحوث ، وبالتالي الحصول على دعم ثمين يفيدهم في نضالهم من أجل سياسة مساعدة وناشطة من أجل العلم . وكثر عدد أولئك الذين قدموا العون الناشط لمؤسسات ثقافية أو لتنظيمات تنشر العلم . ومن أبرز هذه المؤسسات ، « المؤسسة الملكية في لندن» التي أسسها رامفورد سنة 1799 لغايات خيرية ، فتحولت سريعاً ، وبآن واحد الى مختبر للبحوث والى مركز للمحاضرات العامة ، وكان لها تأثير عميق بفضل المكانة والاخلاص اللذين يتمتع بهما المحرّكان الأوّلان دافي وفراداي .

أثر الجمعيات العلمية . ـ تم هذا التأثير الذي مارسه العلماء على الرأي العام أيضاً بواسطة الجمعيات العديدة التي أنشئت بخلال القرن التاسع عشر من أجل تقوية التعاون بين الاختصاصيين في نفس الحقل ومن أجل تسهيل نشر الأعمال الأصيلة ومن أجل تأمين انتشار واسع للاكتشافات

الجديدة . ضمت هذه الجمعيات في أغلب الأحيان علماء محترفين وهواة ، فعرفت نجاحاً خاصاً في مجالات الفلك والجيولوجيا وعلوم الطبيعة وساهمت في مجهود الدعاية لصالح سياسة رسمية تساعد العلم ، وكانت الإتحادات الوطنية من أجل تقدم العلوم أكثر فعالية بهذا الشأن . وكانت الغاية الأساسية لهذه الجمعيات ان تقارن ، أثناء المناقشات العامة الواسعة بين الانجازات الأكثر حداثة في مختلف المجالات العلمية ، من أجل إبراز تداخلاتها المتبادلة ، ومن أجل استخلاص معلومات مفيدة حول توجيه البحوث . والمثل المعطى في هذا السبيل ، منذ 1815 ، من قبل « الجمعية السويسرية للعلوم الطبيعية » تبعه ، بعد 1822 تأسيس جمعية مماثلة المانية قام به العالم الألماني الطبيعي لورانس أوكن ، الذي كان ليبرالياً نشيطاً وفيلسوفاً متحمساً للطبيعة . وكانت الاجتماعات التي تعقدها كل سنة في مدينة مختلفة ، قد لاقت نجاحاً باهراً . وكان وقع هذه الاجتماعات لدى الرأي العام أحد العوامل الأساسية في النهضة العلمية الألمانية الكبرى .

أما « الجمعية البريطانية لتقدم العلم » فقد تأسست سنة 1831 ، بناءً على مبادرة من العديد من العلماء الذين اعجبوا كثيراً بفاعلية « الاتحاد الألماني » ، وتصدت بنشاط لأهم النواقص في التنظيم العلمي البريطاني . واهتمت هذه الجمعية بإقامة المناظرات الحماسية ، حول المسائل الكبرى المطروحة ، واستطاعت أن تلفت إلى الاهتمام بعملها انتباه ممثلي الطبقات الحاكمة والأوساط الصناعية ، واحتلت هذه الجمعية مكانة مسيطرة في الحياة العلمية البريطانية في القرن التاسع عشر . وعلى المدى البعيد كان تأثيرها خصباً جداً ، وأدى الى العصرنة التدريجية للمؤسسات العلمية في المملكة المتحدة .

التعاون الدولي . ـ إلا أن الوتيرة السريعة للتقدم أوشكت أن تؤدي الى نقص في التنسيق بين المتخصصين في ذات المجال من مختلف البلدان . وإذا كان العلم الغربي لم يعرف ، بخلال القرن الثامن عشر ومطلع القرن التاسع عشر إلا القليل من الحدود ، إلا أن الوضع قد تطور بسرعة على أثر تصلب الحركات القومية ، وعلى أثر العدد المتزايد من النشرات ومن جراء استبدال اللغة اللاتينية واللغة الفرنسية وهما لغتا أوروبا العلمية في القرن الثامن عشر بمختلف اللغات القومية . ومن أجل إقامة تعاون دولي ضروري في المجال العلمي بدت الحاجة ملحة الى مبادرات جديدة وأدى نجاح المقابلات الدولية : المؤتمرات التي عقدت أثناء بعض اجتماعات الجمعية الألمانية ، الى حفز الاحصائي البلجيكي آ. كيتيلت على إقامة اجتماعات مماثلة مخصصة للإختصاصين في نفس المجال العلمي . ومثل المؤتمرات الدولية للإحصاء التي نظمها كيتيلت ابتداءً من 1853 ـ عقد أول مؤتمر في بروكسل ، والثامن في سان بطرس برغ 1872 ـ اتبع بسرعة في مجالات أخرى مثل الكيمياء (كارلسروه ، 1860) علم النبات (بروكسل 1864) ، الطب (باريس 1867) ، الخ . ففتح عهد جديد في تاريخ العلاقات الدولية العلمية وعلى هذا الأساس عقد في باريس سنة 1900 ما يقارب من خمسة عشر مؤتمراً بمناسبة المعرض الكبير .

وهناك تعاون مماثل برز في مجال المشاريع المتنوعة الأكثر اختصاصاً : مثل تحديد عناصر المغناطيسية الأرضية ، إنجاز النظام المتري من قبل اللجنة الدولية المترية (1869 ، 1870 ، 1872) ومن قبل اللجنة الدولية للأوزان والمكاييل (إبتداءً من سنة 1875) ثم وضع الخارطة الفوتوغرافية

للسماء (ابتداء من سنة 1889) . وقامت عدة لجان دولية ، في حين عملت الأكاديميات الرئيسية سنة 1900 على تأسيس الإتحاد الدولي للأكاديميات . وبذات الوقت بدأت لجنة دولية ترعاها الجمعية الملكية البريطانية بنشر بيبليوغرافيا سنوية لمجمل النشرات العلمية اسمها : « الكتالوغ الدولي للأدب العلمي » وهو مشروع ضخم أوقفته مع الأسف الحرب العالمية الأولى . وهكذا ، في أواخر القرن التاسع عشر انطلق التنظيم الدولي للعلم مما أتاح انتشاراً أكبر للمنشورات المتكاثرة باستمرار وأتاح تعاوناً أقوى بين العلماء في قسم كبير من العالم .

II ـ الوضع في مختلف الدول

من أجل انهاء هذا العرض السريع للشروط العامة للحياة العلمية في أوروبا الغربية بخلال القرن التاسع عشر ، سوف نقدم بشكل مختصر السمات الخاصة لتطور هذه الظروف في مختلف البلدان ، مع التأكيد بشكل خاص على ثلاثة أمثلة نموذجية هي فرنسا وألمانيا وبريطانيا .

فرنسا ـ ان اصلاح التنظيم العلمي الفرنسي من قبل الثورة الفرنسية ـ وان كانت سبقته بعدة سنوات ـ يفتح حقاً القرن التاسع عشر العلمي واضعاً الأطر الجديدة للتقدم .

وهذا الاصلاح ، وان كان أقل إقداماً وأقل إتساعاً مما أراده له منشئوه ، إلا أنه زودَ فرنسا بنظام تربوي ملائم للوضع الاجتماعي في تلك الحقبة ، وللحالة الأحدث في مجال العلم ، انه نظام قُلِّدَ ، فيما بعد ، تحت أشكال متنوعة وفي العديد من البلدان . لقد استلهم هذا الاصلاح بآنٍ واحد رغبة « الفلاسفة » اعطاء مكانة أوسع للعلوم وللتقنيات ، وهي أدوات تحرير وتقدم اجتماعي ، تدل على التوق العام نحو تعليم متاحٍ للجميع . فضلاً عن ذلك بينت « الثورة » ، باسنادها مسؤوليات مهمة الى بعض رجال العلم الدور العظيم الذي يجب أن يلعبه العلماء والتقنيون في دولة عصرية ، وهي بذلك وضعت أسس تنظيم البحث التطبيقي .

في حين كانت كليات النظام القديم الفرنسي تتجاهل العلم ، أصبحت المدارس المركزية الجديدة تقدم تعليماً أولياً للرياضيات وللعلوم الفيزيائية والطبيعية ، وأنشئت أو عصرنت مؤسسات تعليمية عدة تقدم تعليماً عالياً وتقنياً ذا قيمة كبيرة . من هذه المؤسسات : مدرسة بوليتكنيك ، ومدارس متنوعة تقنية أو عسكرية ، ومدارس للصحة العامة ، والكوليج دو فرانس ، والمتحف الوطني للتاريخ الطبيعي ، الخ . وزودت هذه المؤسسات المختلفة بجهاز تعليمي من المرتبة الأولى يضم العلماء الأعظم في ذلك العصر . وكانت البرامج قد وضعت تبعاً للتطورات الأكثر حداثة في مجال العلم ، وكانت بتجهيزاتها تتيح بآنٍ واحد تنشئةً نظريةً وعملية للطلاب ، كما تتيح متابعة أعمال البحث . وحين جعلت الثورة الفرنسية ، المستشفى مركز الدراسات الطبية ، فإنها فتحت مرحلة جديدة في تاريخ الطب . إن إنشاء المختبرات للتعليم وللبحوث ، في مدرسة بوليتكنيك [أي مدرسة التقنيات المتعددة (المترجم)] كان تجديداً مشهوداً له الهم العمليات الاصلاحية اللاحقة ؛ وتحت إدارة برتوليت وغاي ـ لوساك ، وتينارد شكل مختبر الكيمياء في هذه المدرسة مركزاً ناشطاً جداً استقبل العديد من الكيميائيين الأجانب . وبقيت أكاديمية العلوم ، بعد إعادة تنظيمها سنة 1795 ، بآنٍ واحد المركز

المشرف للعلم الفرنسي ، يقدم تأييداً ثميناً للأعمال الأصيلة ، وجهازاً رسمياً يقدم المشورة للسلطات العامة حول مختلف المسائل التقنية والعلمية . إن أهمية دورها ، قد توضح عند وضع النظام المتري ، بمبادرة من الثورة الفرنسية ، وهي مبادرة نالت عبر القرن موافقة العديد من البلدان .

إلا أن نابليون في محاولته تثبيت قسم من هذه المؤسسات ، ومع إظهاره الود غير المنكور للعلماء ، خرب جزئياً هذا الجهد نتيجة المركزية الشديدة ، وبسبب سياسته « الإجمالية » التي ضحّت جزئياً بالبحث النظري . إن إنشاء المدارس ، وعسكرة مدرسة البوليتكنيك ، قد أوجد تراجعاً واضحاً في حين لم يكن تأسيس كليات العلوم إلا حركة بدون مفعول مباشر ، لأن البحث كان عملياً قد استبعد من نشاطها . وشهرة مؤسساته المختلفة التي خرَّجت العديد من العلماء ذوي القيمة ، جعلت من باريس ، بخلال الثلث الأول من القرن التاسع عشر المركز غير المنازع للعلم العالمي . إن مدرسة بوليتكنيك ، والمتحف (الميزيوم) ، ومدرسة الطب والكوليج دوفرانس ، تمتعت بشكل خاص بمهابة استثنائية يعود الفضل فيها ، الى شهرة اساتذتها ، والى جدة مناهج التعليم والى حماس الطلاب(1) . وكذلك اتخذت هذه المؤسسات كنموذج لمؤسسات متنوعة انشئت في مختلف بلدان أوروبا . وكون هذا الاصلاح قد ارتبط بالعمل التحريري الذي ساهمت به الثورة الفرنسية ، ساعد الى حدٍ بعيد على الاستقبال الحار الذي لقيته هذه الثورة في الأوساط الأوروبية الثقافية ، ان وضع سياسة وطنية للعلم سوف يكون أحد أهداف الحركات الثورية طيلة القرن .

إلا أن مجمل الظروف في فرنسا أصبح أقل تشجيعاً لمتابعة السياسة التي أطلقتها الثورة . فحكومة الرستوراسيون [عودة الملكية بعد سقوط نابليون (المترجم)] وان احتفظت بالتنظيم السابق ، إلا أنها لم تظهر إلا القليل من الود تجاه العلم . أما الأنظمة التالية فقد أظهرت فهماً أكبر ، إلا أنها لم تقدم الدعم المالي اللازم . ورغم بقاء العاصمة الفرنسية ، طيلة القرن مركزاً علمياً مشرقاً جداً ، إلا أن تفوقها تراجع بسرعة أمام الجامعات الألمانية . إن الأسباب الأساسية لهذا التراجع كانت المركزية الشديدة في النظام الجامعي الفرنسي ، وجمود برامجها ، والمكان غير الكافي الممنوح للبحث العلمي ، وعدم كفاية التجهيز . في حين تكاثرت في ألمانيا المختبرات ومؤسسات البحوث الجيدة التجهيز ، كان علماء في الكوليج دو فرانس بمثل عظمة ماجندي وكلود برنار ، لا تتيسر لهم إلا أماكن غير كافية والا معدات بدائية .

وكذلك سيطرة الوضعية التي قال بها أغوست كونت على العديد من العلماء الفرنسيين كانت أيضاً مانعاً من التقدم . إن الفلسفة الوضعية وان بدت ظاهراً محبذة للعلم ، إلا أنها كانت تقوم على مفاهيم جامدة جداً ، فولدت حالة فكرية معادية لبعض اتجاهات البحث التي تفتح الطريق أمام الفيزياء الحديثة .

إن إشارات تجدد ظهرت في كل الأحوال ومنها : النهضة السريعة لمدرسة دار المعلمين العليا

---

(1) ان جمعية اركاي ARCUEIL ، وهي نوع من الاكاديمية الخاصة كانت تجتمع عند برتوليت من سنة 1804 حتى سنة 1821 ، وكانت أيضاً مركزاً نشيطاً جداً شجع البحوث الفيزيائية الرياضية وأثر في تنظيم العلم الفرنسي .

حيث أقام سانكلير دوفيل مختبراً حديثاً ، ثم اليقظة البطيئة ولكن المنتظمة لكليات الأرياف ، وتأسيس المدرسة العملية للدراسات العليا ، والموجهة فقط نحو البحث ، وافتتاح مدرسة الانتروبولوجيا أو علم الإحاثة الخ . وفي أواخر القرن حطمت جرأة جيل جديد من الفيزيائيين الموهوبين أمثال كوري (الزوجان) وبيرين ولانجفين التراث العقيم ، مما مكن الفيزياء الفرنسية من اللحاق بالتيارات الأكثر حداثة في البحث .

إن التناقض بين النجاح الباهر لإصلاحات الثورة ، والتردي النسبي للعلم التجريبي ، والذي نتج عن التخلي عن هذه السياسة يدل دلالة واضحة على ضرورات البحث العلمي الحديث وذلك بإثبات الحاجة الى تكييف مستمر لتنظيم العلم في السبل الجديدة للتقدم .

ألمانيا . ـ في أواخر القرن الثامن عشر بدا العلم الألماني في مرحلة تراجع واضح . ولكن الأعمال الأولى التي قام بها غوس دلت على تجدد سوف يتأكد بسرعة تحت تأثير مزدوج من الإصلاحات الجامعية التي حصلت في فرنسا ، والأماني الوطنية التي نماها الإحتلال النابليوني ، وتحت تأثير فلسفة الطبيعة . يضاف الى مثل جامعة غوتنجن التي أعطت في القرن الثامن عشر المكان الاوسع للعلوم وللطب ، والتي أنشأت مناهج حديثة للتعليم ، مثل جامعة برلين ، التي أسست وفقاً لخطط وتصاميم و. فون همبولدت سنة 1810 . وهذه الجامعة التي كان فخته أول عمدائها ، وسعت أيضاً إطار التعليم العلمي والطبي وأتاحت بفضل اجتماعاتها ومعاهدها المتخصصة ، للطلاب ان يشاركوا في أعمال البحث . وسرعان ما قامت جامعات أخرى أو أعيد تنظيمها وفقاً لهذا النموذج ، وفي بروسيا ، في بريسلو Breslau ، وكونيغسبرغ Königsberg ، وهال Halle وبون Bonn ، وفي الولايات الأخرى الألمانية في ينا Iéna وارلنجن Erlangen وميونيخ Munich وأورسبورغ Wurzbourg وهيدلبرغ Heidelberg وتوبنجين Tübingen ، الخ ، وفي البلدان المجاورة التي تتكلم الألمانية ؛ هذه المؤسسات التي سبقت التوحيد السياسي ، كانت تنبض بالأماني الليبرالية والقومية وحققت قليلاً قليلاً وحدة علمية حقة للغة الألمانية ، مع الحفاظ على تنوع كاف فيها بينها وعلى منافسة مفيدة . ان العمل الدؤوب الذي قام به الكسندر فون همبولدت Alexander Von Humboldt والنجاح الكبير لاجتماعات (الجمعية العلمية الألمانية) قد ساهما بنشاط في هذه النهضة التي جعلت من ألمانيا ـ التيكانت ما تزال موزعة سياسياً ، في أواسط القرن ـ المركز الأكثر نشاطاً في العلم الغربي . هذا التطور تسارع أيضاً بعد التوحيد مع اتخاذه أحياناً شكلاً أقل ليبرالية ، ومستوحياً اهتمامات أكثر نفعية .

ان تكاثر المختبرات ، ومؤسسات البحث ، والمجامع يدل على تردي « فلسفة الطبيعة » مما أتاح تخصصاً متزايداً سلك مسالك التقدم الموجهة . والمثل النموذجي الخاص بهذا الشأن ، هي الكيمياء التي تبين أيضاً الإنعكاسات المهمة التي يحدثها البحث في مجال التطوير الصناعي والإقتصادي .

في الثلث الأول من القرن ، أنشأ كيميائيون موهوبون ، تدربوا في ستوكهولم على يد برزيليوس ، وفي مختبر مدرسة بوليتكنيك في باريس ، أو في هيدلبرغ على يد جملن (Gmelin) ، في كل الجامعات مختبرات ناشطة ؛ وأشهرها هو مختبر ليبيغ في جيسن (Giessen) الذي توجه ناحية الكيمياء العضوية والكيمياء الزراعية . وفي النصف الثاني من القرن ، امتد هذا المجهود الى المجال التقني ، فتسبب

بنهضة سريعة في الصناعة الكيميائية، وهي اداة لم يكن لها مثيل في قدرة ألمانيا الاقتصادية والسياسية

وكانت الفيزيولوجيا أيضاً مثلاً على فعالية التنظيم الجديد . في هذا الوقت كانت البحوث في فرنسا قد تباطأت نتيجة نقص التجهيز ، في حين قامت في ألمانيا معاهد عدة للفيزيولوجيا ، في كارلسروه Karlsruhe ، وفي برسلو (بوركيني Purkyne ، 1834) ، ثم في بون Bonn وفي برلين ، بفضل Johannes Müller . واستطاع الجيل التالي ، جيل بوا ـ ريمون (Bois-Reymond) وهلمهولتز (Helmholtz) ولودويغ (Ludwig) ، ان يتابع هذا المجهود وان يجعل من ألمانيا مركزاً معتبراً ، يأتيه اعداد لا تحصى من الفيزيولوجيين تتدرب ، لتنتشر فيما بعد في كل أوروبا ، وفي الولايات المتحدة ، وفي اليابان ، الخ .

وهناك أمثلة أخرى ذات اتجاه أيضاً ، سواء كان ذلك مثل الرياضيات ، الذي سبق عرضه أو مثل العلوم الفيزيائية حيث عرف العلماء الألمان كيف يزاوجون بين إمكانات الأداة الرياضية وبين الإمكانات التجريبية في مختبرات حسنة التجهيز .

إن أهمية الأعمال التي حققتها ألمانيا في القرن التاسع عشر ، في كل مجالات العلم ، والسمعة الحسنة التي نالتها جامعاتها ومختبراتها لدى العديد من الباحثين الأجانب الذين جاءوا يتدربون فيها ، وكثرة عدد منشوراتها المتنوعة ونوعيتها : مجلات متخصصة ، نشرات بيبليوغرافية ، كتب ومؤلفات تبحرية ، كل ذلك يبرر الهيبة أو المكانة الإستثنائية التي توج بها علم هذا البلد في آخر القرن التاسع عشر . وهناك أيضاً عاملان آخران يجب ذكرهما : الانتشار السريع للقوة السياسية لألمانية الموحدة ، الذي جعل من هذا البلد ومن لغتها قطبي اجتذاب قويين بشكل خاص ، ثمّ النهضة السريعة التي حققتها صناعتها ، والتي أثبتت الفعالية الأكيدة لطرق عمل مؤسساتها ومختبراتها .

بريطانيا ـ في السنوات الأولى من القرن التاسع عشر ، كان وضع العلم البريطاني ذا مظاهر معقدة نوعاً ما . ففي حين كان علماء المملكة المتحدة ، في بعض المجالات ، في طليعة التقدم ـ خاصة في علوم الفيزياء ، بفضل و. هرشل W. Herschel ، ودافي Davy ويونغ Young ودالتون Dalton ، وفي علوم الأرض بفضل المدرسة البلوتونية في أدنبره ، وو . سميث (W . Smith)ـ ففي مجالات أخرى ، كالرياضيات ، لم يكن هناك أي انتاج أصيل مهم يستحق الذكر .

وأسباب مثل هذا الوضع متعددة . وإذا كان خصب التراث النيوتني في الفلسفة الطبيعية وفي التحليل التجريبي هو في أساس نجاحات الفيزيائيين البريطانيين ، فإن التقهقر الواضح في تعليم العلم، وجمود «الجمعية الملكية» ، والسيطرة الأرستقراطية والدينية على الجامعات، والمفاهيم النفعية للأوساط الصناعية والاهتمام القليل الذي كانت تبديه السلطات العامة تجاه العلم، كل ذلك يفسر التأخر المهم الذي ظهر في قطاعات أخرى. إن انتصار نابليون، الذي دل على تراجع الفلسفة المادية والعقلانية التي انتشرت بفعل «الثورة الفرنسية»، والذي كرّس التفوق الصناعي البريطاني ، أيد القادة السياسيين والجامعيين في مشاعرهم المعادية ، لتطور كبير في العلم ، المصدر الممكن للالحاد . وبالمقابل ، وبفضل جامعاتهاالمزدهرة ، التي بقيت على

اتصال مع العلم في القارة، بقيت اسكتلندا خارج هذا التيار الإظلامي، واستطاعت من جراء هذا أن تلعب دوراً مهماً في التجديد الذي لا بد منه في بنيات العلم البريطاني.

ان مثل هذا التجديد كان مرغوباً به بشدة من قبل العديد من العلماء. وكانت هناك بشائر ذات دلالة تستحق الذكر. وكان « للمؤسسة الملكية » (Royal Institution) التي أسست سنة 1801، تأثير خصب، بفضل الشخصية المعتبرة التي تمتع بها الأساتذة الأوائل: دافي Davy، ويونغ (Young)، وفارادي (Faraday). وتم الإتصال بالرياضيات القارية بفضل مبادرة بعض الرياضيين الشبان من كمبردج: بيكوك (Peacock)، وباباج Babbage وج. هرشل (J. Herschel) الذين أدخلوا الطرق المتناهية الصغر الليبنيزية [نسبة الى ليبنيز]. ان نجاح « الجمعية اللينية» [نسبة الى ليني Linné]، وتأسيس « الجمعية الجيولوجية » (Geological Society) (1807)، والجمعية الفلكية (Astronomical Society) (1820)، الخ. وتأسيس «معاهد الميكانيك» (Mechanics' Institutes) المتخصّصة بإعطاء تدريب أساسي تقني علمي للحرفيين المستقبليين ـ وأحد هذه المعاهد، المؤسس في لندن سنة 1823، هو الذي ولّد كلية بيركبك (Birkbeck College)، أول عنصر من عناصر جامعة لندن المستقبلية ـ كل ذلك ثبت هذه الانطلاقة التجديدية.

إن الأوساط الليبرالية، والأوساط المنشقة من التلامذة القدامى في الجامعات الاسكتلندية، كانت الطلائع الرئيسية للحركة الاصلاحية التي اصطدمت بعدائية الطبقات الحاكمة الغيورة على امتيازاتها، وبعدائية الكهنوت الأنغليكاني الذي كان يمارس وصاية قاسية على أشهر جامعات أوكسفورد وكمبردج، وكان لهذه المعركة عدة أهداف: اصلاح الجمعية الملكية، المشلولة بتدفق الاعضاء من غير العلماء، والغاء الرقابة الدينية على دخول الجامعات، ووضع تعليم علمي حديث، ثم قيام السلطات العامة بتقديم العون المالي اللازم من أجل إنشاء العديد من أجهزة التعليم والبحث.

وعملت التقارير المتعددة المتحمسة حول اجتماعات الجمعية العلمية الألمانية للعلوم الطبيعية، والعديد من مقالات أدنبره، وبصورة خاصة الدفاع المؤثر الذي قدمه شارل باباج، بعنوان « تأملات حول تدهور العلم في انكلترا » (لندن، 1830) على تقوية التيار الاصلاحي. وقدم انشاء « الإتحاد البريطاني » سنة 1831 عوناً حاسماً في هذه المعركة، بإعطاء العلماء منبراً لتقديم مشاريعهم الاصلاحية وتصاميمهم البحوثية، مستعنين في عملهم بالممثلين الأكثر تنوراً، من كل الأوساط.

في الواقع كان على الإتحاد البريطاني (British Association)، طيلة القرن ان يناضل من أجل حمل السلطات العامة لوضع القواعد الأولى لسياسة حقيقية للعلم. ورغم المساندة التي وجدها المصلحون لدى زوج الملكة البيرت دي ساكس ـ كوبورغ (1819-1861)، فإن جهودهم لم تفعل فعلها إلا ببطء، وخلال هذه الحقبة كان تنظيم العلم البريطاني متأخراً جداً عن تنظيمه في البلدان الأوروبية. ان النجاحات الأكيدة التي حققها هذا التنظيم، كانت رغم كل شيء في قسم منها من صنع العلماء الهواة، بل العصاميين.

إلا أنه، رغم العداء الظاهر الذي أظهره بعض القادة، كان ضغط الأحداث والرأي العام، وخاصة المعلومات الأكيدة عن النجاح الألماني على الصعيدين الصناعي والعسكري قد دعم العمل

الاقناعي الذي قدمه « الإتحاد البريطاني » الأمر الذي حمل الحكومة تدريجياً على اصلاح الجامعات القائمة ، وعلى إنشاء مؤسسات تعليم عام أو متخصص مثل « الكلية الملكية للكيمياء» (1845) ثم «المدرسة الحكومية للمناجم والعلم» (1851)، ومختبرات ومراكز بحوث (مثل المختبر الشهير، « مختبر كافنديش» في كامبريدج، الذي أسس بأموال خاصة وأسند منذ إنشائه سنة (1872)، إلى ماكسويل) وعلى تزويد برامج واسعة للبحث في مجالات متنوعة . إن هذا التنظيم ، وان صمم ، وحقق بشكل تجريبي ومتأخر، إلا أنه أعطى نتائج ممتازة . الحقيقة ان المختبرات ومعاهد البحوث الألمانية ، المزارة كثيراً من قبل العديد من الباحثين البريطانيين ، قد استخدمت كنماذج للمؤسسات المماثلة التي أنشئت في المملكة المتحدة . وهكذا تكيفت بريطانيا التي لم تعرف الثورة ولا الاجتياح ، كما حصل لفرنسا وألمانيا ، مع الظروف الجديدة للتقدم العلمي إنما ببطء. وعلى الأقل استطاعت في أواخر القرن أن تحقق شكلاً من التنظيم للعمل العلمي تبين أنه فعال بشكل خاص في العديد من المجالات .

ايطاليا .ـ رغم أن العلم الايطالي قد تمثل بممثلين ذوي قيمة أمثال روفيني وڤولتا وغالڤاني وسبالانزاني الا أنه لم يشرق ، في أواخر القرن الثامن عشر في مجمله اشراقة قوية . ان تقسيم البلاد الى عدة دول ، وتفرق المراكز الفكرية هي الأسباب الأساسية في هذا الوضع . ومنذ السنوات الأولى من القرن التاسع عشر عمل تأثير الأفكار الثورية والاتصالات الثقافية الوثيقة مع فرنسا ،وكذلك سيطرة ادارة نابليون على تحديث التعليم وعلى توحيد جزئي للبلد . ولكن بعد سقوط الامبراطورية وجدت ايطاليا نفسها مجزأة من جديد وخاضعة لانظمة تسلطية قليلة التحبيذ لتقدم العلم . ورغم استمرار بعض النشاط في الجامعات الصغيرة ، العشرين ، الموجودة في شبه الجزيرة ، فإن النصف الأول من القرن التاسع عشر هو حقبة مظلمة في تاريخ العلم الايطالي . لقد كان الفعل الأساسي للأوساط الفكرية منصباً على الصعيد السياسي من أجل الصراع للتحرير ولتوحيد التراب الوطني . ولهذا ارتدت الاجتماعات السنوية للعلماء الايطاليين ، التي نظمت ابتداءً من 1839، الصفة الثورية والوطنية، سريعاً ، الأمر الذي تسبب بمنعها سنة 1847

ولكن منذ منتصف القرن عمد تطور الشعور الوطني والتحقيق التدريجي للوحدة الايطالية على احداث نهضة سريعة في النشاط العلمي ارتبط ازدهاره ، بشكل موثق بازدهار الدولة الجديدة . ان الجهود التجديدية المحدثة في كل المجالات بإيمان قوي ابتداءً من التجارب الأجنبية ، أدت الى تجديد عميق للتجهيز العلمي وللبنيات الجامعية وأتاحت تكوين نخبات علمية ناشطة جداً امتدت أعمالها البحوثية ، التي كانت غالباً أصيلة جداً ، الى كل المجالات العلمية ، ابتداءً من المنطق الرياضي والجيومتريا الجبرية ، وصولاً الى علم الطفيليات والى التشريح الطبي « الباتولوجي » .

سويسرا ـ انها ملتقى الثقافات وفيها تتواجه وتمتزج التأثيرات الفرنسية والالمانية وحتى البريطانية. لقد نمذجت سويسرا تنظيمها الجامعي وفقاً لبنيتها السياسية التي وضعت عبر القرن ، وقد أضيفت ، الى الجامعات القديمة (بال ، برن ، لوزان ، جنيف) أو الجديدة (زوريخ ، نيوشاتل) ، الموضوعة تحت سلطة الحكومات الاقليمية ، مدرسة بوليتكنيك فيدرالية (1854) أصبحت بسرعة مركزاً مشهوراً جداً . ومنذ سنة 1815 قامت الجمعية السويسرية (الهلفسية) بتنظيم اجتماعات سنوية . واعتبرت

هذه الجمعية كنموذج للاتحادات المستقبلية ، من أجل تقدم العلوم . إن عمل العلماء السويسريين (الهلفسيين) كان بارزاً بشكل خاص في الرياضيات، مع ج. شتاينر، ول. شلافلي، وفي الفيزياء التجريبية والأدواتية ، وفي الجيولوجيا الآلبية مع م. لوجون ، وآ. هيم ، وفي علم النبات مع العائلة الشهيرة كندول Candolle ، وفي الفيزيولوجيا النباتية والزوولوجيا المستنقعية . وإذا كانت الجامعات السويسرية ومدرسة بوليتكنيك الفيدرالية قد استقبلت العديد من العلماء من الخارج الا أن العديد من العلماء السويسريين قد عرف الشهرة البراقة في الخارج مثل : ش. ستورم في باريس ، وج. شتاينر وأ. بواريمون في ألمانيا ،ول. اغاسيز في الولايات المتحدة .

بلجيكا والبلدان المنخفضة ـ كانت البلدان المنخفضة الحالية وبلجيكا مرتبطة بمصير فرنسا حتى سنة 1814 ، ثم جمعت بعدها تحت اسم مملكة البلدان المنخفضة ، وبعدها قسمت نهائياً سنة 1830 الى البلدان المنخفضة الحالية وبلجيكا . من أجل هذا كان تنظيمها الجامعي قد تغير عدة مرات . في البلدان المنخفضة ظلت مدن ليد ، غرونغ ، أمستردام وأوتريخت مراكز جامعية ، في حين أضيفت في بلجيكا ، جامعات الدولة غاند ولياج، ثم جامعة بروكسل الحرة ، الى الجامعة الكاثوليكية القديمة في لوفين .

وفي بلجيكا ، حيث كانت العلوم في تأخر واضح في القرن الثامن عشر كانت اليقظة بطيئة رغم الجهود العنيدة التي قام بها آ. كيتيلت ، مؤسس مرصد بروكسل ، ومنظم المؤتمرات الدولية الأولى ، ومنشىء الاحصاء الاجتماعي . ولكن ، في آخر القرن ، ظهرت نهضة في كل المجالات ، نهضة قواها تأسيس عدة معاهد متخصصة ، يمولها الصناعي أرنست سولفي (Ernest Solvay) . وأول هذه المعاهد ، كان المعهد الفيزيولوجي ، وبدأ نشاطه سنة 1893 ، تحت إدارة بول هيغر (Paul Heger) .

في البلدان المنخفضة ، بعد حقبة من الجمود ، تتناقض مع الإشراق الذي عرفته جامعة ليد (Leyde) في القرن الثامن عشر ، كان آخر القرن التاسع عشر أيضاً حقبة نمو سريع .

وتكفي أسماء : فان در والز ، لورنتز ، وزيمان ، وكامرلنغ أونس في الفيزياء ، وأسماء مولدر وفانت هوف في الكيمياء ، وأخيراً أسماء هـ.دي فريس H.de Vries وأينتهوفن Einthoven في البيولوجيا ، للدلالة على المستوى العالي الذي بلغه العلم في البلدان المنخفضة في بداية القرن العشرين .

سكنديناڤيا ـ في البلدان السكنديناڤية ، زين بعض العلماء الكبار مطلع القرن ، مثل برزيليوس، الذي يعتبر مختبره في ستوكهولم أحد الأماكن العالية في الكيمياء الأوروبية ، والفيزيائي الدانمركي أوستد (Oested) ، الذي اشتهر باكتشافه المفاعيل المغناطيسية للتيار الكهربائي ، ثم الرياضي الشهير النروجي آبل (Abel) . واحتوت العلوم الطبيعية ، حيث استمر الدفع الذي قدمه ليني Linné ، أسماء مقدرة أيضاً أمثال تونبرغ Thunberg ، ودي فري (de Fries) ، واشاريوس وأغاردث .

وبعد حقبة من الجمود النسبي ، تشكل مناخ مساعد للعلم حوالى سنة 1880 تحت تأثير النمو الاقتصادي الذي حطم الأطر الإجتماعية التقليدية . وبرزت هذه النهضة أولاً في الدانمرك وفي

النروج، ثم امتدت الى السويد . وفي حين كانت الجمعيات المتنوعة تنشُر العلم في الأوساط الشعبية ، كانت الجامعات القديمة تزدهر جداً (كوبنهاغن، أوبسالا ، لوند Lund) ، وكذلك جامعات أوسلو وستوكهولم التي أسست سنة 1811 و1878 ، وأنشئت معاهد متنوعة متخصصة اما بمعونة الأموال العمومية ، وإما بفضل التبرعات من الصناديق الخاصة (كارلسبرغ في الدانمرك ، 1876 ؛ نوبل في ستوكهولم) .

وإذا كانت كل المجالات العلمية قد تلقت دفعة جديدة ، فإن النتائج كانت باهرة بشكل خاص في الرياضيات (س. لي وج. ميتاغ ـ ليفلر ، مؤسس « اكتاماثماتيكا » ، سنة 1882) ، وفي الفيزياء ، والفيزكيمياء (انغستروم ، وارهينيوس ، وج. ريدبرغ ، وبجركنس ، وغولدبرغ ، وواج) ، وفي الزوولوجيا البحرية (نوردنسكيولد وج. دي جير) ، وفي الطب ، مع ن. ر. فسن وآ. هنسن . نذكر أخيراً ، ان وصية المهندس السويدي الفرد نوبل ، هي التي أسست ، سنة 1896 ، جائزة نوبل التي بدىء بمنحها ابتداء من سنة 1901 ، على أن تمنح جوائز الفيزياء والكيمياء أكاديمية العلوم في ستوكهولم ، وجائزة الطب معهد كارولنسكا Karolinska .

أوروبا الوسطى والدانوبية . ـ خضعت بلدان أوروبا الوسطى والدانوبية المختلفة ، لمختلف الأنظمة الاستبدادية ، كما كانت ضحية الاضطرابات القومية ، والثورات والحروب ، وهكذا وجدت نفسها في القرن التاسع عشر ، في مناخ سياسي ، واقتصادي واجتماعي قليل الملائمة للنشاط العلمي المتماسك والمستمر . وإذا استثنينا بعض المراكز في الامبراطورية النمساوية الهنغارية ، فإننا لا نجد إلا يقظة متصاعدة وظهور بعض المؤلفات ذات القيمة العالية ، ولكنها نادرة وفريدة .

وضمن حدود النمسا الحالية ، كانت المراكز العلمية الأكثر إزدهاراً هي غراتز Gratz وفينا ، المزودة بمعاهد (Hochschulen) تقنية ، وكانت تنتمي ، في الواقع الى الطائفة العلمية الكبيرة التي تتكلم الألمانية . إن أسماء الفيزيائي بولتزمان، روكيتانسكي المشرف على مدرسة طبية حية ، وفي فجر عصرنا إسم فرويد (Freud) ، كلها تدل على الحيوية المستمرة في جامعة فينا .

كانت هنغاريا خاضعة للنمسا ، ثم أعطيت نظام حكم ذاتي ، وكان فيها جامعة بست (Pest) ، مركز الاضطرابات الوطنية ، وقد شهرها الفيزيائي يوتفوس (Eötvös) . ومن بين الممثلين الآخرين للعلم الهنغاري ، لا يمكن أن ننسى ج. بوليه J. Bolyai ، أحد مؤسسي الهندسة غير الاقليدية [نسبة إلى اقليس]وي . سملويس I.Semmelweis وهو طبيب موهوب ذو مصير مأسوي .

ومنذ الاقتسام ، ظلت بولونيا خاضعة بشدة للضغط الأجنبي ، ورغم بعض النشاطات في جامعتي فرصوفيا وويلنو، تحت الوصاية الروسية، كانت الجامعة القديمة، جامعة جاجيلون (Jagellone) في كراكوفيا ، هي التي عادت من جديد لتصبح بعد 1869 ـ وتحت الحكم النمساوي المركز الرئيسي للعلم البولوني، وفي كراكوفيا حيث مقر الأكاديمية البولونية للعلوم، نجح الفيزيائيان أولزوسكي (Olszewski)، وروبلوسكي (Wröblewski) في سنة 1883، في إجراء تجارب مهمة حول تسييل الغازات .

كانت بوهيميا ، بؤرة ناشطة للإضطرابات البانسلافية ، وكانت خاضعة للسيطرة النمساوية ،

وفي سنة 1882 أُنشئت جامعة تشيكية في براغ . ومن بين الممثلين الأبرز للعلم التشيكي في القرن التاسع عشر تبرز ثلاثة أسماء : غريغور مندل (G. Mendel) مؤسس علم الوراثة (Génétique) الحديث وب. بولزانو (Bolzano) ، محلل ومنطقي موهوب ، وأ. بوركيني E. Purkyne ، وهو عالم متخصص بالخلايا وفيزيولوجي [عالم بوظائف الأعضاء] .

ان بلاد يوغوسلافيا الحالية كانت مقسومة بين السلطنة العثمانية والامبراطورية النمساوية الهنغارية ، فلم تعرف بخلال القرن التاسع عشر إلا نشاطاً علمياً محدوداً . إلا أنه في أواخر القرن أصبحت جامعتا زغرب وبلغراد نشيطتين جداً . وقد نزح عنها بعض العلماء من ذوي القيمة وما يزالون مثل المهندس الشهير نقولا تسلا الذي نشأ في غراتز ، واشتغل في بودابست وفي باريس قبل أن يقوم بعمل باهر في الولايات المتحدة . ورغم أن اليونان وبلغاريا ورومانيا قد أنشأت بصورة تدريجية مدارس عليا وجامعات وأكاديميات ، إلا أنها لم تستطع حتى الآن أن تتلافى تأخرها الخطير في المجال العلمي ، وربما في القرن العشرين استطاعت هذه البلدان بجهد أن تشارك في التقدم العلمي العام .

شبه الجزيرة الايبرية . ـ في شبه الجزيرة الايبرية المدمرة بالحروب النابليونية ، بقيت الظروف السياسية ـ رغم بعض محاولات الاصلاح الليبرالي ـ غير ملائمة لتقدم علمي حر . إلا أن إعادة تجمع الجامعات نفخ روحاً جديدة في المراكز الأكثر أهمية مثل لشبونة وفالنسيا ، وبرشلونة وخاصة مدريد .

في فجر القرن العشرين زودت الجامعة الأخيرة بعدة معاهد كانت حيويتها بارزة بفضل تأثير العالم في الأنسجة الكبير س. رامون إي كاخال S. Ramón y Cajal . الذي حصل على جائزة نوبل في الطب سنة 1906 من أجل اعماله حول بنية الجهاز العصبي .

مراجع الفصل الأول

En plus d'ouvrages précédemment cités (pp. 603-604 : cadre général : science, philosophie et société ; histoire de la science en général) — et dont certains comportent une importante partie bibliographique — nous ne mentionnerons que quelques études plus particulières :

W. GREGORY, édit., *International congresses and conferences, 1810-1937. Union list*, New York, 1938 ; L. PASTEUR, *Le budget de la science*, Paris, 1858 ; E. MAINDRON, *L'Académie des sciences*, Paris, 1888 ; L. LIARD, *L'enseignement supérieur en France de 1789 à 1889*, Paris, 1888 ; *La science française*, 2 vol., Paris, 1915 ; M. DAUMAS, *Arago*, Paris, 1943 ; L. FAYET, *La Révolution française et la science*, Paris, 1960 ; K. SUDHOFF, *Hundert Jahre Deutscher Naturforscher Versammlungen*, Leipzig, 1922 ; F. SCHNABEL, *Deutsche Geschichte in neunzehnten Jahrhundert*, v. 3, Fribourg, 1949 ; Ch. BABBAGE, *Reflections on the decline of science in England*, Londres, 1830 ; A. I. TILLYARD, *A history of University reform*, Cambridge, 1913 ; A. SCHUSTER et A. E. SHIPLEY, *Britain's heritage of science*, Londres, 1917 ; O. J. R. HOWARTH, *The British Association for the Advancement of Science, 1831-1931*, Londres, 1931 ; G. B. PETRUCCI, édit., *L'Italia e la scienza*, Florence, 1932 ; L. SILLA, édit., *Un secolo di progresso scientifico italiano*, 7 vol., Rome, 1939-40 ; E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zurich, 1934 ; C. van OVERBERGH, *Le mouvement scientifique en Belgique, 1830-1905*, 2 vol., Bruxelles, 1907-1908 ; A. J. BARNOW et B. LANDHEER, édit., *The contribution of Holland to the sciences*, New York, 1933 ; W. MEISEN, *Prominent Danish scientists*, Copenhague, 1932 ; S. LINDROTH, *Swedish men of science*, Stockholm, 1952 ; *Histoire sommaire des sciences en Pologne*, Cracovie, 1933.

الفصل الثاني

العلم والحياة في روسيا
(القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر)

القرن الثامن عشر ـ ان بداية النمو الزاخم لأعمال البحث العلمي في روسيا تعود الى الربع الثاني من القرن الثامن عشر . لقد اقتضت نهضة الصناعة والتجارة ، والبناء المدني والعسكري وتأهيل الطرقات وإنشاء جيش وبحرية حربية نظاميين ، بصورة ملحة ، في بداية القرن الثامن عشر ، وجود اختصاصيين مؤهلين لمختلف فروع التقنية والعلم. من هنا نشأت اصلاحات بطرس الأكبر في مادة العلم والتعليم .

في سنة 1701 انشيء في موسكو مدرسة علمانية للدولة متخصصة بالرياضيات وبالملاحة . وكانت أول مدرسة من نوعها في روسيا . وبعدها أنشئت مدارس متنوعة للهندسة المدنية وللطب في موسكو وبطرسبرغ ، ومدارس مناجم في الأورال الخ . وفي 1724 أصدر بطرس الأكبر مرسوماً بإنشاء أكاديمية العلوم في بطرسبرغ ، افتتحت بعد موته سنة 1725 ، وكانت تتويجاً لكل هذه الاصلاحات . واشتملت الأكاديمية على مكتبة ومتحف ومرصد وفرع للفيزياء ومختبر للكيمياء (1748) . وكان « معهد الرياضيات » والجامعة تابعين للأكاديمية وكانت مهمتها تنشئة العلماء والمساعدين لهم .

وفي سنة 1755 وبناء على اقتراح م . ف . لومونوسوف ، Lomonossov ، تأسست جامعة موسكو وفيها كليات للحقوق والطب والفلسفة .

وفي سنة 1765 تأسست في بطرسبرغ الجمعية الاقتصادية الحرة ، وهي أول جمعية علمية في روسيا .

وفي سنة 1773 فتحت في بطرسبرغ مدرسة مناجم (تحولت في القرن التاسع عشر الى معهد للمناجم) ؛ وفي سنة 1798 وفي نفس المدينة حولت مدرسة الطب والجراحة الى أكاديمية للطب والجراحة .

واقتصر نشاط أكاديمية العلوم في بطرسبرغ الى حدٍ بعيد على المهمات العملية .

وعلى سبيل المثال يمكن أن نذكر الأعمال المنتظمة من أجل دراسة الطبيعة والسكان في أراضي الامبراطورية الواسعة خاصة في مناطقها الشمالية والشرقية ، وهكذا قام بين سنة 1733 و 1744 تعاون مع كلية الاميرالية (وزارة البحرية) ، لارسال بعثة كبيرة شمالية الى سيبيريا والى جزيرة كامتشاتكا Kamtchatka . ومن سنة 1768 الى سنة 1774 أرسلت بعثات من أجل استكشاف مختلف مناطق روسيا في أوروبا وفي آسيا ؛ ومن سنة 1785 الى سنة 1792 ذهبت بعثة الى الشرق الأقصى الخ . الى جانب ذلك قامت بحوث متابعة لرسم الخرائط وحول الفلك وحول علم الطقس والجيولوجيا وعلم النبات وعلم الحيوان ، ومن أجل بناء معدات بصرية أو جيوديزية الخ .

وساهم علماء مشهورون بأعمال الأكاديمية في القرن الثامن عشر . ومن بينهم يعود المقام الأول الى ل. أولر L. Euler والى م. ف. لومونوسوف M.V. Lomonossov الذي بقيت عبقريته الموسوعية لمدة طويلة مجهولة من مؤرخي العلم . في بادىء الأمر من أجل مواجهة نقص الاختصاصيين الروس : جرت دعوات لعلماء أجانب مثل د. برنولي D. Bernoulli ، والفيزيائي ف.و. ابينوس F. U. Aepinus ،والفيزيولوجي ك. ف. ولف K.F. Wolff ، وعالم الطبيعة ب. س. بالاس P.S. Pallas ، والكيميائي ت. لويتز T. Lowitz (1757-1804) . ولكن في السنوات الأربعينيات تفوق العلماء الروس على العلماء الأجانب في الأكاديمية وحلوا محلهم . ومنهم : العالم الطبيعي س. ب. كراشينينكوف (1711 أو 1713-1755) ، والفيزيائي ج. ف. ريشمان G.V. Richmann (1711-1753) من استونيا ، والفلكي والرياضي س. ي. روموفسكي S.Y.Roumovski (1734-1812) ، ثم علماء الطبيعة : ي. ي. ليبكين I.I.Lépekhine (1740-1802) وف. ف. زويف V.F.Zouév (1754-1794) ثم ن. ي. أوزيريتسكوفسكي (1750-1827) N.Y. Ozéretskovski الخ

وسرعان ما أصبحت أكاديمية بطرسبرغ أحد مراكز العلم العالمي . إن البحوث المتخصصة والعديدة التي نشرتها مع 72مجلداً من المذكرات حول القرن الثامن عشر تعتبر كلها تقديماً هائلاً من أجل تطوير الفكر البشري .

في تلك الحقبة كان القليل من العلماء فقط يقومون ببحوث جانبية على هامش الأكاديمية . ومنهم مثلاً م. م. تيريكوفسكي (1740-1796) Térekhovski ، في مجال البيولوجيا ، أو مثلاً آ. ت. بولوتوف Bolotov (1738-1833) في مجال علم البيولوجيا الزراعية .

من بداية القرن التاسع عشر حتى ثورة اكتوبر 1917 . إن التفكك التدريجي لعلاقات الانتاج الاقطاعية ،ونمو العلاقات الرأسمالية ، وظهور فروع جديدة في الصناعة ، ومهمات التقنية العسكرية ، قد تسببت في مطلع القرن التاسع عشر بالتحولات الجديدة في نظام التعليم . فقد فتحت في كل مراكز الأقضية الحكومية معاهد للرياضيات ، كان تلامذتها المتخرجون يتمتعون بحق الدخول الى المدرسة العليا . وظهرت مدارس تقنية متنوعة مثل معهد المهندسين في طرق المواصلات في بطرسبرغ (1810) ومدرسة الدراسات العليا التقنية في موسكو (1832) الخ . وتشكلت معاهد للتربية الى جانب الأكاديمية ، ولكن بالمقابل فتحت جامعات بعد سنة 1802 ، في تارتو وبعدها في فلنيوس وفي

كازان ، وفي كاركوف وفي بطرسبرغ وفي كييف ، الخ . وقبل 1917 كان عدد الجامعات فوق الأراضي الروسية 10 جامعات ، دون أن نحسب فيها جامعة لفوف Lvov التي أسست سنة 1661. وأنشئت داخل الجامعات كليات فيزرياضية لتعليم كل مركبات العلوم الطبيعية . ويدأ العلم يتخصص بصورة تدريجية وأخذ عدد الطلاب يتضخم ، وان تناقص ، في بعض الأحيان (1848-1854 و 1885-1897) بسبب تدابير الحكومة الرجعية الرامية الى محاربة الأفكار الثورية التي كانت تنتشر بين الشبيبة . وتلقى العلم العالي دفعة خاصة بعد الستينات بسبب النمو السريع للرأسمالية بعد إلغاء الرق . ومن بدايات القرن التاسع عشر الى الحرب العالمية الأولى ارتفع عدد الطلاب في الجامعات من بعض المئات إلى أكثر من ستين ألفاً .

وفي القرن التاسع عشر كان البحث العلمي ناشطاً ليس فقط في أكاديمية بطرسبرغ بل أيضاً في الجامعات التي تمتلك مكتباتها الخاصة ومراصدها ومختبراتها ، ونشر « حوليات » وكتباً . وأخذت مؤسسات جديدة مهمة تظهر الى الوجود مثل المرصد الفلكي في بولكوفو Poulkovo (1839) ، والمرصد الجيوفيزيائي في سان بطرسبرغ (1849) الذي كان يشرف على شبكة من المحطات المغناطيسية والميتيرولوجية ، والبستان النباتي نيكتسكي Nikitski في جزيرة القرم (1812) ومؤسسات أخرى كثيرة . وظهرت الى الوجود أيضاً جمعيات علمية متخصصة : منها جمعية علماء الطبيعة في موسكو (1805) وجمعية الجغرافيا (1845) والجمعية الرياضية في موسكو (1864) والجمعية الروسية للكيمياء (1868) ومؤسسات أخرى كثيرة . وارتدى نشاط هذه الجمعيات زخماً خاصاً أيضاً في الستينات تقريباً . وبنفس الحقبة عمدت الأوساط العلمية الى تنظيم مؤتمرات لعلماء الطبيعة وللاطباء الروس . وأول مؤتمر عقد سنة 1868 والمؤتمر الثالث عشر عقد سنة 1913 في مدينة تفليس .

ن الوحدة الوثيقة بين العلم والحياة ، وبين النظرية والتطبيق كانت السمة المميزة لعمل العديد من العلماء الروس . كتب ب. ل. تشيبيشف ، مؤسس المدرسة الكبرى للرياضيات في بطرسبرغ يقول :

« يعطي التقارب بين النظرية والتطبيق النتائج الأكثر إفادة ، والتطبيق ليس الوحيد الذي يستفيد من هذا التقارب ؛ ان العلوم بالذات تنمو بفضل تأثيره : فهو يفتح أمامها مواضيع جديدة للدراسة أو مظاهر جديدة في مواد معروفة منذ زمن بعيد » (ب. ل. تشيبيشف ، مجموعة الأعمال الكاملة ، مجلد 5 ، 1951 ص 150 من الطبعة الروسية) .

وبذات الوقت ، جرى العمل على بحث معمق للمسائل التي كان لها ، على الأقل في ذلك الزمان ، أهمية نظرية والتي كانت ضرورية لتقدم العلم بالذات . وهذا يعود الفضل فيه أيضا الى تشبيشف وتلامذته . وإذا كانت بحوث تشيبيشف في نظرية « متعدد الحدود » في مقاربات الدالات (التابعات) قد كبرت بفعل ارتباطها الوثيق بدراسة نظرية الأواليات ، فإن أعماله حول نظرية الاعداد كان ذات سمة تجريدية .

وتبدو ذات دلالة خاصة ، من هذه الجهة ، أعمال ن. ي. لوباتشفسكي حول نظرية المتوازيات التي جذبت الانتباه منذ العصور القديمة . واكتشاف ن. ي. لوباتشفسكي للهندسة غير الاقليدية

الهيربولية [الهيربول هو القطع الزائد] ، وكذلك السلسلة الكاملة من البحوث اللاحقة التي قام بها ب. ريمان وآخرون ، كان لهما في البداية فائدة فيما بين الرياضيات وفي المنهجية . وفيما بعد ، أصبحا إحدى أهم المقدمات في الفيزياء الحديثة ، وفي التقنية المعاصرة ، المبنية على أساس هذه الفيزياء .

ان العلاقة الوثيقة بين البحوث العلمية وتطبيقها تمكن ملاحظتها في العديد من مجالات المعارف والعشرات من البعثات الروسية في القرن التاسع عشر لم تتح فقط محو سلسلة من البقع البيضاء في الخارطة الجغرافية (استكشاف القطب الجنوبي ، ومقابله القطب الشمالي ، ودراسة آسيا الوسطى) ، بل انها أكملت أيضاً معرفة الثروات الطبيعية في روسيا . في سنة 1882 ، تم تأسيس ، تحت رئاسة آ. ب. كاربنسكي (1846-1936) « لجنة جيولوجية » كانت مهمتها الاشراف على وضع الخطط الجيولوجية . وبذات الوقت كانت البحوث النظرية مستمرة على نطاق واسع في الجيولوجيا . نذكر على سبيل المثال أعمال ف. ي. فرنادسكي (1863-1945) الذي كان قبل 1917 ، ينتقل من مسائل علم المعادن الوصفي الى إنشاء علم جديد هو الجيوكيمياء .

ويعود الفضل الى العلماء الروس من القرن التاسع عشر أو بداية القرن العشرين في تحقيق العديد من الاكتشافات النظرية الأساسية في مجالات متنوعة .

في الكيمياء اكتشف د. ي. مندليف القانون الدوري الأساسي الذي افتتح عهداً جديداً ، ليس فقط في مجال هذا العلم ، بل أيضاً ، كما تبين فيما بعد ، في مجال الفيزياء . ان نظرية البنية الكيميائية التي وضعها آ. م. بوتليروف (1828-1886) قد وضعت في أساس الكيمياء العضوية الجديدة . وانطلاقاً من الستينات ، انجزت بحوث مهمة في مجال البيولوجيا . ووجدت نظرية داروين في روسيا أرضاً مهد لها من قبل ك. باير K. Baer (1792-1876) والعالم القائل بالنشوء والإرتقاء ك. ف. رولييه C.F. Roullier (1814-1858) وطُوِّرتّ في الأعمال حول علم الأجنة التي قام بها آ.و. كوفاليفسكي (1840 - 1901) و إ. إ. متشنيكوف (1845 - 1916) وحول الإحاثة من قبل ف . أ . كوفاليفسكي (1842 - 1883) . كان نجاح الداروينية في روسيا مرتبطاً بصعود الحركة الديمقراطية الثورية ، وبانتشار المفاهيم المادية . إن هذه الإتجاهات الايديولوجية بالذات قد ساهمت بتقدم الفيزيولوجيا ، في الأعمال الأساسية التي قام بها ي . م . ستشينوف (1829 - 1905) وي . ب . بافلوف (1849 - 1936) ، حول النشاط العصبي الأعلى للإنسان وللحيوانات .

ورغم نهضة الرأسمالية ، قبل 1917 ، كان مستوى التطور الصناعي في روسيا متأخراً بشكل واضح عن مستوى التطور في بعض الدول ، الأكثر تطوراً من هذه الناحية . ان التصنيع الضعيف نسبياً في البلد ، والجمود ، وفي أغلب الأحيان معارضة الجهاز الحكومي ، كل ذلك شلَّ نشاط العلماء .

والكثير من الاكتشافات المحققة في روسيا القيصرية لم تكن تجد تطبيقاً عملياً لها مباشرة . وهكذا تم تناسي اكتشاف القوس الكهربائي ، الذي حصل سنة 1802 على يد ف . ف. بتروف (1761-1834) ؛ والمحرك الكهربائي (1834) الذي صنعه ب.س. جاكوبي (1801-1874) ، واختراع الراديو (1895-1896) من قبل آ. س. بوبوف A.S. Popov الخ بقيا بدون استعمال تقريباً . .

إن سلسلة كاملة من الأعمال النظرية ، المتحكمة بحل المسائل التقنية المعيشية الملحة وبالاقتصاد الوطني ، لم تكن لتتحقق الا بعد ثورة اوكتوبر ؛ وهذا ينطبق مثلاً على الأعمال الأساسية في « التحرك الهوائي » (ايروديناميك) ، وفي « التحرك المائي » « هيدروديناميك » ، المحققة من قبل ن. أ. جوكوفسكي (1847-1921) وس. آ. تشابليغين S.A.Tchaplyguine (1869-1942) ، أو أيضاً في مجال مختلف تماماً ، في مجال انتقاء النباتات من قبل ي. ف. ميتشورين (1854-1938) . إن بحوث ق . أ. تسيولكوفسكي (C.E. Tsiolkovski) (1857-1935) ـ في مجال نظرية الصواريخ التي كانت قد سبقت الامكانات المادية والتقنية المتاحة في عصره ـ لم تلاق أي دعم .

ونتج عن ذلك ان العديد من الاكتشافات المهمة للعلماء الروس ، قد استخدم الى حد واسع في الخارج ، في حين أن هذه الاكتشافات نسيت في روسيا . وكما سنرى في المجلد اللاحق ، انقلب الوضع بصورة جذرية في سنة 1917 ، بعد ثورة أوكتوبر .

مراجع الفصل الثاني

Histoire de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., t. I *(1724-1803)*, Moscou-Leningrad, 1958 ; *Histoire des Sciences en Russie*, t. I, 2 parties, Moscou, 1957 (jusqu'à 1860 environ) ; t. II, Moscou, 1960 (de 1860 à 1917). Ces volumes contiennent un index bibliographique des ouvrages importants ; *Histoire des sciences. Ouvrages publiés en U.R.S.S. (1917-1947)*, Moscou-Leningrad, 1949 ; *Id. (1948-1950)*, Moscou, 1955 (contient un index bibliographique très complet).

Ces divers ouvrages sont en langue russe et les titres cités sont les traductions françaises des titres originaux.

الفصل الثالث

الحياة العلمية في الولايات المتحدة في القرن التاسع عشر

بعد « الثورة » ، وبعد تأمين « الاستقلال » ، وجدت الأمة الاميركية نفسها تواجه جملة من المسائل طرحتها ضرورة سد الاحتياجات الذاتية . خاصةً بسبب الأنظمة الحصارية والضاغطة التي فرضتها انكلترا لكي تحافظ على صناعتها الخاصة ، خاصة صناعة الحديد والفولاذ ، لم تكن « أميركا » تملك أي تجهيز صناعي قوي ،وعالي القيمة . ولهذا كان من الطبيعي ، أن تتألف شركات ، منذ إنشاء الحكومة ، من أجل تطوير التقنيات والصناعة(1) .

طرح جورج واشنطن ، في أول رسالة سنوية له الى الكونغرس ، المسألة بوضوح شديد ، مشيراً الى « ضرورة التشجيع الفعال ، سواء من أجل إدخال الاختراعات المفيدة الآتية من الخارج ، أم أيضاً ، من أجل اعمال المواهب والفكر الابتكاري ، من أجل بعث هذه الاختراعات في البلد بالذات » . ان تطوير الزراعة كان يطرح مشكلة ذات أهمية مماثلة تقريباً .

فمنذ بداية تاريخها الوطني ـ العقود الأخيرة من القرن الثامن عشر والعقود الأولى من القرن التاسع عشر ـ تميزت أميركا في مجال التقنيات ، كما يثبت ذلك مثل أوليفر ايفنس الذي نظم أول مصنع أوتوماتيكي حقاً .

بالرغم من أنه في غالبية قطاعات النشاط البشري ، كانت العقود الأولى من وجود الجمهورية الجديدة ، قد اتسمت بنهضة في الوعي الوطني ، إلا أن العلوم المحضة ، بقيت في حالة الركود ـ وحتى حين حرب الانفصال (1861-1865) ، كانت المحاولات المتنوعة الجارية من أجل إنشاء تنظيم علمي

(1) ان هذا العرض مخصص بصورة حصرية بتاريخ تنظيم العلم وبعلاقاته الرسمية مع الحكومة . من أجل دراسة مختلف العلوم في الولايات المتحدة ، خلال هذه الحقبة ، ومن أجل تصوير المساهمات التي قدمها العلماء الاميركيون ، نُرْجِعُ الى الفصول المخصصة لهذا الأمر في هذا المجلد

وطني ، وفقاً لنموذج «الجمعية الملكية» اللندنية أو كادبمية العلوم في باريس ، قد باءت بالفشل تماماً . «فالجمعية الفلسفية الاميركية» (فيلادلفيا) ، و« الأكاديمية الاميركية للفنون والعلوم» (بوسطن) (راجع المجلّد الثاني) لم تكن مؤسسات وطنية ؛ فقد أسست ومُوِّلت على أساس خاص ، فلم تكن تتمتع بأية رعاية أو دعم مالي حكومي ، ولم تكن خاضعة لأي موجب رسمي ، حتى ولو على سبيل الاستشارة .

مشروع « الجامعة المركزية » ـ منذ 1805 ، جرى نقاش كثير حول مشروع « جامعة مركزية » مزودة بمطبعتها الخاصة ، وبمختبرات بحوث وبساتين نباتية . وكان هذا المشروع ، الذي قدمه الشاعر ورجل الدولة جويل بارلو (Joel Barlow) ، الذي كان « وزيراً » في باريس ، مستوحى في قسم منه من مَثَل الأكاديميات الأوروبية ، على أن تقدم هذه « الجامعة » الجوائز والمنح المهمة لتشجيع البحث العلمي ، وبذات الوقت لتلعب دور جهاز وطني للاتصال العلمي . وبالإجمال كان على « الجامعة » أن تكون بآنٍ واحدٍ « مؤسسة تعليم علمي ، ومتحفاً وأكاديمية علوم على الصعيد الوطني» وأكمل جيفرسون فكرة بارلو، فاقترح أن تلحق بهذه الجامعة، المعتبرة كجهاز مركزي ، فروع تقام ، على نفس النموذج ، إنما بصورة أصغر، عبر البلاد كلها. ووضع مشروع قانون من أجل إنشاء هذه « المؤسسة » وقدم أمام مجلس الشيوخ ، ولكنه لم يناقش أبداً . ويبدو أن الكونغرس قد حكم أن هذا التصميم ضخم للغاية ، ولم يفهم أن من وظائف الحكومة أن تقيم مثل هذه المؤسسة وأن تأخذها على عاتقها مالياً .

معهد كولومبيا (Colombian Institute) . ـ اجتمع في واشنطن ، سنة 1816 ، بتشجيع مطلق وإيحاء وجهود بارلو ، ثلاثة رجال كانوا على علاقة به هم : توماس لو (T. Law) ، جوزيا ميغس (Josiah Meigs) وإدوار كوتبوش (E. Cutbush) ، من أجل إقامة مؤسسة عرفت باسم « متروبوليتان سوسيتي » (Metropolitan Society) .

وكانوا يأملون بالحصول على الدعم الفعلي من الكونغرس ، وخاصة ، منحهم أرضاً تصلح لبستان نباتي ، وطلبوا من كل الذين يهتمون بالعلوم المساهمة في هذا المشروع الجديد ، الذي سمي بعد تمام تأسيسه ، « المعهد الكولومبي لتشجيع الفنون والعلوم » . ويدل هذا الاسم على رغبة المواطنين ، في تلك الحقبة ، بأن يرمزوا الى العبقرية الخاصة ببلدهم . وبعض بنود النظام في « المعهد الكولومبي » توضح الأهداف العملية التي يرمي اليها :

ـ إن أهداف المعهد تقوم على تجميع، ورعاية وتوزيع مختلف المنتوجات الزراعية في هذا البلد وغيره . . .

ـ جمع ودرس المنتوجات المعدنية والطرائف الطبيعية في الولايات المتحدة . . .

ـ القيام بالإتصالات المتعلقة بالزراعة . . .

ـ وضع تاريخ طوبوغرافي واحصائي لمختلف « ولايات » أرجاء الولايات المتحدة...

ـ تعميم المعلومات ذات المنفعة العامة كل سنة » .

وفي 20 نيسان 1818 ، حصل « المعهد » من الكونغرس على « صك امتياز » يسمح له بالحصول

على بناء ، وتملك قطعة أرض لتكون بستاناً نباتياً ، وبإقامة اجتماعات عامة في مبنى مجلس النواب وبعد ذلك بسنتين ، مُنح قطعة أرض صغيرة خصصت لتكون بستاناً نباتياً ، كما منح ، من أجل إقامة مركزه الدائم ، قاعة كبيرة تحت مكتبة الكابيتول . في هذه الأثناء كان المعهد قد وسّع اطار نشاطاته الأساسية التي كانت مقصورة على تنمية الزراعة ، وعلى إحصاء وجدولة الموارد الطبيعية ؛ ووزع تنظيم جديد الأعضاء الى خمس طبقات : رياضية ، علوم فيزيائية ، علوم بيولوجية ، علوم أخلاقية وسياسية ، وفنون جيلة . وعلى مثال « معهد فرنسا » ، اشتمل « المعهد » بالتالي ، لا على الفروع المتنوعة للعلوم ، بل على نشاطات أخرى ثقافية . وكان رئيس الولايات المتحدة راعي المعهد الذي شمل من بين أعضائه الفخريين ، الرؤساء القدامى الثلاثة : جون أدامس ، وتوماس جيفرسون ، وجامس ماديسون ، وكان من بين أعضائه غير المقيمين أجانب معتبرين أمثال لافاييت (Lafayette) وكوفيه (Cuvier) .

ورغم أن اللائحة المهيبة بأعضائه قد تضمنت ضباطاً أعلين ، وأعضاء من الغرفة الرئاسية ، وشيوخاً ونواباً ، إلا أن « المعهد الكولومبي » لم يحقق أبداً هدفه الرئيسي . فلم يستطع أبداً اقرار برنامج واسع للمنح التي تتيح للشبان من الطبقات الأكثر فقراً في المجتمع أن يكملوا دراستهم وكذلك لم يكن أحسن حظاً في جهوده من أجل إقامة مرصد فلكي وطني . فضلاً عن ذلك لم يستطع الحصول على المال اللازم لبرنامجه من أجل إعادة النظر بنظام الأوزان والمكاييل واعتماد النظام المتري . وبسبب فقد الوسائل المالية ، لم يستطع حتى نشر محاضر جلساته أو مذكراته . من جراء هذا قلّ اهتمام الرأي العام به بصورة تدريجية ، مما أدى بسرعة الى اختفاء معهد الـ« كولومبيان انستيتيوت » .

ومن المظاهر الرئيسية لتأثير « المعهد » ما له علاقة « بالبعثة » الاميركية لاستكشاف الباسفيك الجنوبي ، والتي أشرف عليها الليوتنان شارل ويلكس Charles Wilkes ، أحد أعضاء المعهد . كانت هذه البعثة قد قررت ، سنة 1828 ، من قبل الكونغرس ، وقام أمين عام وزارة البحرية ، ساموبل ل. سوتارد (Samuel L. Southard) ، والعضو في المعهد ، بطلب آراء واقتراحات « المعهد » بشأن موضوع افراد البعثة ، وبرنامج البحوث ، والتجهيزات وطرق الاستقصاء . وقامت لجنة خاصة بعرض بعض المقترحات على « البحرية » . وهكذا ، ولمرة واحدةٍ على الأقل ، بخلال تاريخه القصير ، حقق المعهد أحد الطموحات الرئيسية لأولئك الذين يريدون تقوية موقع العلم في الأمة ، أي أنه قبل كمستشار للحكومة الاميركية حول مسألة علمية .

في سنة 1835 ، لم تكن أميركا تمتلك أية مؤسسة علمية وطنية . وكانت غالبية المناقشات حول إنشاء محتمل لاجهزة علمية تمولها الحكومة تصطدم بالمسألة السياسية ، الأكثر حساسية في تلك الحقبة ، وهي التعارض بين حقوق الولايات « الدول » وحقوق الحكومة الفدرالية . وكانت هناك مسألة رئيسية تشغل الأفكار كثيراً ، هي مسألة الرق ، ولم يكن بالإمكان مناقشة مسألة المؤسسات العلمية دون الاصطدام بالواقع القائم وهو أن هذا المشروع يقوي امتيازات الحكومة الفدرالية ، على حساب اختصاصات الولايات .

هبة جامس سميثسن . ـ (James Smithson) ـ في سنة 1835 ، توفي عالم انكليزي من المرتبة

الثانية ، جامس سميثسن ، فترك نصف مليون دولار هبة للولايات المتحدة الاميركية لكي تؤسس في واشنطن تحت اسم «سميثسونيان انستيتيوشن «Smithsonian Institution»، مؤسسة غايتها تقدم ونشر المعارف بين الناس . كان ولداً غير شرعي ، ولم يرث عن أبيه لقب الشرف ، وهو الدوق نورثنبلاند Northumberland ؛ واعترف سميثسن بأنه يرغب أن تبقى ذكرى اسمه الخاص لمدة طويلة بعد أن تزول القاب الشرف وتنسى . وأثار اعلان هذه الوصية الهبة في واشنطن مشاعر مختلفة . كان البعض يرى أن الكونغرس غير مؤهل لتلقي هبة من هذا النوع ، وآخرون كانوا يرون أن كرامة الأمة تهان بتقبل هبات أجنبية . ولكن هذه الأصوات كانت أقلية وقبلت الأموال .

وطيلة عشر سنوات تقريباً ، وحتى نهاية تنظيم معهد سميثسونيان ، دار النقاش حول العديد من المشاريع تستخدم فيها هذه الأموال : إنشاء جامعة أو مدرسة للمعلمين ، ومعهدٍ للبحوث الفيزيائية ، ومدرسة زراعة ، ومحطة تجارب ، ومرصد أو متحف وطني الخ .

المؤسسة الوطنية . ـ في هذه الأثناء تشكل جهاز جديد هو المؤسسة الوطنية لتشجيع العلم ، وتأسست في واشنطن سنة 1840 . ورغم أن هذه المؤسسة ، في كثير من النواحي هي الوارثة المباشرة للمعهد الكولمبي، إلا أنها كانت أقرب الى أكاديمية العلوم في باريس ، خاصة وانها كانت تضم أعضاء عاملين وأعضاء مراسلين وأعضاء شرف ، موزعين ضمن أقسام متخصصة : كيمياء،جيولوجيا، تطبيقات العلم على التقنيات، الخ .وقد نصَّ أحد البنود على التعاون الوثيق مع الحكومة كما ذكر حرفياً أن حكام الولايات جميعاً وكل الممثلين الدبلوماسيين والقنصليين والتجاريين في الولايات المتحدة هم حكماً أعضاء مراسلون للمؤسسة الوطنية ، وكان المديرون الممثلون للحكومة ، يتألفون من كل أعضاء الوزارة ، ومن بعض الشيوخ . ولم يغفل أي أمر من أجل إقامة علاقات متينة مع الحكومة .

ووضعت بعثة ويلكس Wilkes أمام مؤسسي المؤسسة الوطنية مشكلة ملحة . لقد انطلقت البعثة سنة 1838 وكان من المفترض أن تعود سنة 1841 ،ولم يتخذ أي تدبير لجمع وعرض المجموعة الغنية من معطيات التاريخ الطبيعي التي حصلت عليها البعثة . زيادة على هذه المشاكل التي تقتضي حلا سريعاً ، عمل المؤسسون جاهدين لكي يحصلوا على هبة النصف مليون دولار الموهوبة للولايات المتحدة من قبل ج. سميثسن . وهكذا حرصوا على التوضيح بأن من الأهداف الأساسية للمؤسسة الوطنية « تقدم ونشر المعارف بين الناس » ، نص حرفي مأخوذ من وصية سميثسن ، بقصد أكيد هو إظهار العلاقات الوثيقة الموجودة بين نشاطات المؤسسة والموضوع الواضح الذي تهدف اليه هبة سميثسن . بل انهم فضلوا كلمة مؤسسة Institution على كلمة معهد Institute ، من أجل التقيد حرفياً بعبارة سميثسن . وكان العديد من الشخصيات يظن أن هبة سميثسن يجب أن تدار من قبل المعهد الوطني . وفي الذكرى الأولى لتأسيس المؤسسة عقد مؤتمر علمي وطني في واشنطن وافتتح بخطاب من رئيس الولايات المتحدة جون تيلر John Tyler . وقام العديد من الخطباء يعبرون عن أملهم في أن تحصل المؤسسة على دعم الحكومة من أجل أن تكون المستودع الشرعي للمجموعات العلمية . وقد تضمنت المؤسسة بين أعضائها العاملين وعددهم 350 عضواً ، وأعضائها المراسلين وعددهم 1250 عضواً ، العلماء الاميركين الرئيسين وكذلك شخصيات سياسية مهمة ، ولكن المؤسسة

الوطنية كسابقتها لم تحصل على الاعتراف الرسمي فزالت من الوجود بسرعة .

المرصد البحري .ـ في سنة 1846 عندما تم تأسيس مؤسسة سميثسونيان كانت الحركة من أجل إنشاء مرصد فلكي وطني قد وصلت الى نهايتها . فقد أسس الكونغرس فعلاً مثل هذه المؤسسة سنة 1842 ، بشكل غير مباشر ، وذلك أثناء تشكيل مستودع دائم للخرائط وللمعدات من أجل وزارة البحرية . ومنذ 1845 أجريت فيه ارصاد ، وبعد ذلك بثلاث سنوات سمي المستودع « المرصد البحري » واحتفظ بهذا الاسم حتى اليوم .

مؤسسة سميثسونيان .ـ في سنة 1846 ، وبعد تأسيسها اختارت مؤسسة سميثسونيان أول مدير لها وهو الفيزيائي جوزيف هنري Joseph Henry من جامعة برنستون . وكان الاختيار موفقاً بالنسبة الى مستقبل المؤسسة ، ولكنه حرم البحث العلمي في الولايات المتحدة من الفيزيائي الوحيد المتفوق ، بين بنيامين فرنكلن وحقبة هنري أ. رولند Henry A. Rowland . كتب هنري بنفسه يقول : « لما كنت في هذه الحقبة قد قمت بسلسلة من البحوث الأصيلة فانني لم أحب في بادىء الأمر قبول هذا العرض [بأن أصبح مديراً] . . . » وقبل لأنه كان المرشح الوحيد المؤهل علمياً ، وكان يعتقد أن مدير مثل هذه المؤسسة يجب أن يكون رجل علم .

« وكتب هنري يقول : وظننت أني أستطيع ترك هذا المركز [بعد أن يتم تنظيم المؤسسة] ، ثم العودة الى مركزي السابق في كلية نيوجرسي [برنستون] من أجل معاودة بحوثي العلمية . ولكن أملي خاب في هذا مع الأسف » .

وتاريخ مؤسسة سميثسونيان يثير الإعجاب ، ومنشوراتها المستعملة من قبل علماء العالم كله ، تشهد لها بصوابية آراء هنري . ومع ذلك فمن المؤكد لدينا كما لدى هنري بالذات أن مؤسسة سميثسونيان « لم تكن مؤسسة وطنية بل هي مؤسسة فردية » ؛ ولهذا فهي تحمل اسمه . وحكومة الولايات المتحدة ، كما يوضح هنري « هي مجرد مشرف مكلف بتحقيق مشروع الموصي » . من هذه الجهة ، ورغم وجود مؤسسة علمية داخل الحكومة بعد سنة 1846 ، فإن نمط الأكاديمية الوطنية أو المؤسسة الوطنية لم يتحقق ، كما كان يتمنى البعض ، وفقاً لنموذج أكاديمية العلوم في باريس أو لنموذج « الجمعية الملكية » في لندن .

جردة الموارد الطبيعية .ـ عدا عن هذه الرغبة في رؤية تأسيس أكاديمية وطنية ، كان من المطامح الرئيسية عند العلماء الاميركيين ، إنشاء « إتحاد وطني » . وتم تنظيم هذا الاتحاد انطلاقاً من جمعية من الجيولوجيين . وليس من المستهجن أن تكون الجيولوجيا ، مثل التاريخ الطبيعي ، في بلد كالولايات المتحدة ، أحد العلوم الأكثر تقدماً . وبمقدار ما كانت حدود البلد تنتقل نحو الباسيفيك ، كانت أراض واسعة ما تستلحق ، وفي كل منها نباتات وحيوانات وتكوينيات جيولوجية خاصة . وشجع الاهتمام بالموارد الطبيعيةالبحوث الجيولوجية، وفي العديد من ولايات الاتحاد. عرفت بداية القرن التاسع عشر تحقيق كشوفات جيولوجية كان بعضها يتضمن أبحاثاً وملاحظات تتعلق بمختلف فروع الزراعة والتاريخ الطبيعي . في سنة 1840 ، كان قد تم وضع سبعة عشر كشفاً جيولوجياً متنوعاً ، وكان أول كشف قد وضع من قبل ولاية ماساشوست ، قبل عشر سنوات فقط .

نشأة الجمعية الاميركية . ـ منذ سنة 1819 ، تأسست « الجمعية الجيولوجية الاميركية » في يال ، وتبعتها ، سنة 1834 ، الجمعية الجيولوجية في بنسلفانيا . وبنفس السنة ، اعترفت الحكومة الاميركية رسمياً بأهمية الجيولوجيا فكلفت ج . و . فيذرستنهوف بتحقيق ـ تحت اشراف وزارة الحرب ـ الكشف الجيولوجي والمعدلي لمنطقة جبال أوزارك . وفي سنة 1840 ، تأسس « إتحاد الجيولوجيين الاميركيين » . وبعد ذلك بقليل ، قبلت هذه الجمعية بين أعضائها علماء طبيعة من مختلف الاختصاصات ، فاتحة المجال بهذا أمام تنظيم « الإتحاد الاميركي لتشجيع العلم » المخصص « ليجمع كل الذين يعملون في مجال العلوم الفيزيائية والطبيعية » . وتم اجتياز المرحلة الأخيرة سنة 1848 ، وقرر « الاتحاد الاميركي » أن ينظم بصورة دورية اجتماعات في مختلف مدن الولايات المتحدة ، من أجل نشر العلوم فوق كل أراضي الوطن . وكان يرغب في إقامة اتصال بين المتخصصين في مختلف فروع العلم ، من أجل « إعطاء دفعة أقوى وأعم ، وكذلك إعطاء توجيهات أكثر منهجية للعلماء العاملين في بلدنا ؛ تم تأمين تسهيلات متزايدة وانتاج أفضل للأعمال العلمية » . وارتفع العدد من 461 ، سنة 1848 ، الى 862 سنة 1859 . وجهد « الاتحاد » أيضاً في إنشاء «أكاديمية وطنية للعلوم » ، وحاول حمل الحكومة على اتخاذ إجراء رسمي من أجل الاعلام العلمي ثمّ الحصول منها على مساعدة فدرالية من أجل الانجازات العلمية .

وكانت الشخصية التي لعبت الدور الأساسي ، أثناء المساعي المتخذة من أجل تأسيس « أكاديمية وطنية للعلوم » هو الكسندر دالاس باش (Alexender Dallas Bache) ، حفيد فرانكلين ، مدير المصلحة الهيدروغرافية [المسح المائي] ، ومؤسس أول مرصد مغناطيسي في أميركا ، في « كلية جيرار » (فيلادلفيا) . في خطابه الرئاسي في المؤتمر السادس « للإتحاد الاميركي » ، المعقود في الباني سنة 1851 ، ركز باش على أهمية مؤسسة علمية وطنية تقام في إطار الحكومة الفدرالية ، باسم « الأكاديمية الوطنية للعلوم وفقاً للنموذج الغربي » .

قال بهذا الشأن : « طالما بقي العلم غير منظم ، فإنه يبقى بدون سلطة . . ان بلدنا يتقدم تقدماً كبيراً في نموه المادي بحيث يستحيل على المؤسسات التشريعية أو التنفيذية في الحكومة أن تتفادى أن تكون معنية مباشرة ، وبشكل من الأشكال ، بقرارات أو بمشاكل تتطلب معارف علمية » .

الانجاز التقني في حرب الانفصال . ـ ان « الأكاديمية الوطنية للعلوم » في الولايات المتحدة قد تأسست سنة 1863 ، أثناء حرب الانفصال . وغالبية الاختصاصيين اعتبروا هذه الحرب وكأنها مرحلة مهمة في تاريخ التقنية العسكرية ، بفضل الأهمية والدور الضخم الذي لعبته فيها بعض التجديدات العلمية والتقنية . وهذا الحدث قد دلّ عليه العديد من المراقبين الآتين من السويد ، ومن فرنسا وانكلترا وبروسيا . من بين هذه التجديدات ، التي أدخلت لأول مرة ، بخلال هذه الحرب ـ على الأقل على مثل هذا المستوى الواسع ، أو بمثل هذه الفعالية ـ يمكن أن نذكر الاستعمال العسكري للسكة الحديدية وللتلغراف ، وللمصوب التلسكوبي ، وللسفن المدرعة أو المصفحة ، وأبراج الاطلاق الدائرة ، والأسلحة المحمولة ذات التعبئة السبطانية ، والرشاشات ، وسيارات الاسعاف ، والخدمات الطبية الريفية ، وبالونات الرصد والتصوير الفوتوغرافي ، والغواصات ، والغازات السامة وقاذفات اللهب واستعمال الأطعمة المركزة ، واللباس الموحد ، والأحذية المصنوعة

على الآلات . ولما كان جوزيف هنري العالم الأكبر ذا الاتصال مع المصالح الحكومية ، فقد أصبح أحد المستشارين الرئيسيين التقنيين للرئيس لينكولن .

انشاء الأكاديمية الوطنية . ـ وأنشئت على عجل لجنة علمية وتقنية لدى وزارة البحرية رأسها الاميرال شارلس هنري دافيس Davis (الذي نشر الأحداث اليومية الاميركية والروزنامة المائية وترجم الى الانكليزية كتاب غوس نظرية تحرك الأجسام) ، وتضمنت هذه اللجنة أيضاً جوزيف هنري والكسندر دالاس باش . ونجح هؤلاء الرجال الثلاثة يعاونهم آخرون من بينهم لويس أغاسيز في تقديم مشروع قانون الى مجلس الشيوخ الذي صدق عليه باعتباره تدبيراً حربياً . وأخيراً تم تحقيق هذا الحلم وهو تأسيس جهاز في الولايات المتحدة يشبه أكاديميات باريس ولندن . ومن بين المسؤوليات الخاصة بالأكاديمية ، كانت وما تزال مسؤولية « الاجابة على كل طلب يقدمه جهاز حكومي من أجل دراسات أو فحوص أو تجارب أو من أجل وضع تقرير حول كل موضوع علمي أو تقني ؛ أما التكاليف اللازمة لهذه الأعمال فتدفع من مخصصات خاصة دون أن تتلقى الأكاديمية أية مكافأة لقاء الخدمات المؤداة على هذا الشكل الى حكومة الولايات المتحدة» .

وجاء آ. باش الذي كان أول رئيس ،بعد جوزيف هنري الذي أصر على عدم قبول أي عضو غير أولئك «الرجال الذين تميزوا ببحوثهم الأصيلة»، والذين «استحقوا هذا التمييز باكتشافات من شأنها توسيع حقل المعارف». وكان الانتساب إلى الأكاديمية شرفاً عظيماً، ومن جراء هذا، كان حافزاً الى البحث العلمي ، وحيا هنري تأسيس الأكاديمية « باعتبارها مرحلة في تاريخ الميول السياسية في بلدنا . وقال أن تأسيسها يدل على أول اعتراف رسمي بأهمية العلوم المحضة ، كعنصر أساسي في التقدم الفكري والمادي . . . » .

وهكذا في نهاية حرب الانفصال كان للولايات المتحدة أكاديمية وطنية للعلوم واتحاد لتقدم العلم وفي العقود التي تلت الحرب زاد عدد العلماء المتفرغين بشكل سريع كما يدل على ذلك الجدول المتضمن عدد أعضاء الإتحاد الاميركي :

1860 ← 644 عضواً
1870 ← 536 عضواً (وهذا النقص سببه حرب الانفصال : 1861- 1865) .
1880← 1555 عضواً
1890 ← 1944 عضواً
1900 ← 1925 عضواً
1910 ← 1950 عضواً .

إنجازات الرياضيين الاميركيين . ـ وكإشارة أخرى على تطور العلوم في أميركا بخلال هذه الحقبة ، يمكن أن ننظر أيضاً الى فرع متخصص في البحث العلمي ، هو فرع الرياضيات مثلاً . بخلال النصف الأول من القرن التاسع عشر كان البحث الرياضي شبه معدوم في أميركا . وظهرت بدايته ، المتواضعة مع نثانيل بوديتش الذي نشر ترجمة لكتاب لابلاس « ميكانيك السماء » مقروناً

بملاحظات تفسيرية كما نشر كتاباً موجزاً بعنوان الملاح العملي الاميركي . وكان بنجامين بيرس استاذاً للرياضيات في جامعة هارڤرد وأحد مؤسسي الأكاديمية الوطنية للعلوم ، وكان بحق الرياضي الاميركي الأكثر أصالة خلال الحقبة التي سبقت حرب الانفصال . وكان عمله الأساسي كتاب الجبر الخطي التجميعي(Linear Associative Algebra)(1872) وقد تناول فيه موضوعاً لم تعرف أهميته الحقيقية إلا حديثاً . وبعد حرب الانفصال عرفت الرياضيات الاميركية عدة ممثلين من ذوي القيمة أمثال : جورج و. هيل الذي قدرت أعماله حول المسألة المحصورة بثلاثة أجسام تقديراً عالياً وعالمياً ؛ ومنهم سيمون نيوكومب الذي عرفت اكتشافاته المهمة في مجال علم الفلك الرياضي وفي النظرية العامة للانحناء في العالم أجمع ؛ ومن بينهم ، الأعظم بين الجميع جوزيا ويلارد جيبس الاستاذ في جامعة يال الذي كانت أعماله حول التحليل الاتجاهي أو السهمي والميكانيك الاحصائي ، في أساس الفيزياء النظرية الحديثة .

وكانت أول جمعية رياضية ـ خارج مجموعات الاحصائيين ـ هي الجمعية الرياضية النيويوركية التي أسست سنة 1888 ، ووسعت ملاكها بعد ثلاث سنوات لتصبح الجمعية الاميركية للرياضيات . ومن (210)أعضاء عند التأسيس أصبح العدد 706 سنة 1914، وهو عدد ارتفع منذ ذلك الحين إلى عدة آلاف . وكانت أول مجلة أميركية متخصصة بنشر الأعمال الرياضية الأصيلة هي المجلة الاميركية للرياضيات وقد أسستها جامعة جونس هوبكنز سنة 1878 .

تطور التعليم العلمي العالي .ـ ان أحد المظاهر الأبرز في الحياة العلمية في أميركا بخلال القرن التاسع عشر هو تطور مؤسسات التعليم العالي بخلال النصف الثاني من القرن . فحتى سنة 1840 لم يكن في الولايات المتحدة أي مؤسسة تستحق اسم جامعة وفي سنة 1847 أنشئت مدارس علمية في يال وفي هارڤرد ، لغاية خاصة هي تكوين المهندسين وهي مهمة كان يقوم بها حتى ذلك الحين ، وبالنسبة الى عدد قليل من الطلاب « معهد رانسيلر البوليتكنيك » (وكان مستواه متواضعاً) ثم الأكاديمية العسكرية للولايات المتحدة في ويست بوينت . وأحد أساتذة يال كان ب . سيليمان جونيور الذي كان أبوه قد أسس « المجلة الاميركية للعلوم والفنون » .

وكان من بين أعضاء الجسم التعليمي في هرڤرد عدة من العظماء في العلم الاميركي في القرن التاسع عشر : ومنهم اساغراي صديق ومكاتب شارل داروين ومنهم أيضاً بنيامين بيرس وقد سبق ذكره ثم الفلكي وليم غرانش بوند وهو أحد الطليعيين في الفوتوغرافيا الفلكية، وابن نورثون هورسيفورد Eben Norton Horseford ، وهو تلميذ نابغ عند ليبيغ في جيسن . الى هذه المجموعة انضم سنة 1844 عالم الحيوان الشهير عالمياً لويس أغاسيز آتياً من سويسرا . إلا أن مثل هذا التجمع للشخصيات الاستثنائية لم يستطع أن يخلق مناخاً ملائماً للثقافة العالية وللبحث العلمي مماثلاً للمناخ الذي كان سائداً في بعض مراكز أوروبا . وكان من الواجب من أجل ذلك انتظار تأسيس جامعة جون هوبكينز ، وهي أول مؤسسة تعليمية منشأة وفقاً للنموذج الأوروبي ومخصصة بشكل خاص للتعليم العالي وللبحث .

* * *

في أواخر القرن، كان توسّع الولايات المتّحدة نحو الغرب قد انتهى . وكانت الولايات المتحدة

مزودة بتنظيمات علمية ومنشآت تعليمية عالية . وأخـذت البلاد تنتـج العلماء من المستوى العالمي . وأصبح بالإمكان تبين ضخامة جهودها العلمية اللاحقة . إن رجال العلم واجهوا بتفاؤل هـذا القرن العشرين حيث أخذت قوى أميركا تظهر في مجال العلم الخالص والفكر التجريدي ، بالضخامة التي عرفتها في القرن التاسع عشر في مجال الاختراعات التقنية والتطبيقات العلمية.

مراجع الفصل الثالث

D. H. Fleming, *A social history of science in America* (3 vol., Boston, à paraître); A. H. Dupree, *Science in the federal government, a history of policies and activities to 1940* (Cambridge, Mass., 1957) ; G. B. Goode, [Une collection de ses études sur le développement de la science en Amérique au XIX^{e} siècle], *A memorial of George Brown Goode* (Smithsonian Institution, *Annual Report for 1897*, *Rep. U.S. Nat. Mus.*, Part 2, Washington, 1901); I. B. Cohen, Some reflections on the state of science in America during the nineteenth century (*Proc. Nat. Ac. Sc.*, *45*, 666-77, 1959) ; Ibid., American physicists at war. 1. From the Revolution to the World Wars; 2. From the First World War to 1942 (*Amer. J. Phys.*, *13*, 223-35, 333-46, 1945); M. E. Pickard, Government and science in the United States (*J. Hist. Med.*, *1*, 254-89, 446-81, 1946) ; R. S. Bates, *Scientific societies in the United States*, New York, 1945 ; F. W. True, *A history of the first half-century of the National Academy of Sciences, 1863-1913*, Washington, 1913 ; P. H. Ochser, *Sons of science, the story of the Smithsonian Institution and its leaders*, New York, 1949 ; G. P. Merrill, *Contributions to the history of American geology* (U. S. Nat. Mus., *Annual Report for 1904*, Washington, 1906) ; Ibid., *Contributions to a history of American state geological and natural history surveys* (U. S. Nat. Mus., *Bul. 109*, Washington, 1920) ; A. D. Rodgers III, *John Torrey, a story of North American botany*, Princeton, 1942 ; A. H. Dupree, *Asa Gray, 1810-1888*, Cambridge, Mass., 1959.

العلم في البلاد الإسلامية ابتداء من سنة 1450 حتى القرن الثامن عشر

I ـ الظروف العامة لنمو العلم

إن نظرة سريعة على تاريخ العلم في البلاد الاسلامية عبر العصور تعرفنا بأن علماء الاسلام كانوا من غير العرب في معظمهم ، بخلال الحقبة الممتدة من القرن الثامن حتى القرن التاسع وانهم نقلوا الى العربية معظم روائع علم الأقدمين ، وعن اليونانيين بشكل خاص .

إن اللغة العربية كانت أداة النقل شبه الوحيدة للعلم في العالم المتحضر حتى القرن الحادي عشر . وعلماء الاسلام ، مسلمون ومسيحيون ويهود ، ظلوا أمراء العلم حتى القرن الثالث عشر ، ولكن التراجمة بدأوا منذ القرن الحادي عشر حتى القرن الثالث عشر ينقلون الى اللاتينية « روائع العلم العربي » .

وإذا كان علم أوروبا المسيحية ، منذ القرن الرابع عشر ـ الذي اتخذ قاعدة له هذه الترجمات عن العربية ، والتي جرت بشكل خاص ، في سالرن Salerne وفي طليطلة ـ سوف يعرف تطوراً متزايداً ، فإن العكس حصل بالنسبة الى العلم في العالم الاسلامي .

إن العلوم الصحيحة لن يكون لها ممثلون يستحقون الاهتمام باستثناء أولغ بك (Ulugh Beg) ومجموعته في سمرقند . وفي مجال العلوم الطبيعية ، تجب الاشارة الى دراسة نباتية مهمة وضعها « المغربي » . أما العلوم الطبية ، فإن داود الانطاكي سوف يكون « آخر ممثل للحقبة العربية حيث أقفل بكرامة مصائرها » (ل. لوكليرك) . والجغرافية قد تمثلت بشكل خاص بليون الافريقي « الذي يجب أن يعتبر ، بعد ابن بطوطة (القرن الرابع عشر) ـ ولكن قبل الرحالين الكبار ، بكثير ، في أواخر القرن الثامن عشر والتاسع عشر ـ أحد أوائل المستكشفين لافريقيا» . والجدول الاحصائي للعلم العربي سوف يوضع في القرن السابع عشر من قبل حاجي خليفة في كتابه « كشف الظنون » .

ما من شك أنه رغم المصائب والنوائب الزمنية كالحروب الصليبية ، والغزوات المغولية والحروب الداخلية ، كانت هناك حياة علمية ، وان تكن أقل بهاءً مما كانت عليه في العصور السابقة ، مستمرةً في البلدان الاسلامية .

هذه الحياة العلمية عُبِّر عنها بشكل رئيسي ، بكتب باللغة العربية ، على الأقل حتى القرن الثامن عشر . والى جانب هذه اللغة نشير ، الى أوجه استعمال اللغات الوطنية : التركية والفارسية استعمالاً كان يتزايدُ مع الزمن . فنرى فعلاً أتراكاً وفرساً يكتبون باللغة العربية ، ورجالاً لغتهم الأمُّ هي العربية يكتبون بالتركية أو الفارسية . وقليلاً قليلاً أخذت الانطلاقة تتوضح . لقد كُتِبَ الكثيرُ عن تاريخ العلم عند الأتراك العثمانيين . وبعض المؤلفين طرحوا على أنفسهم السؤال التالي : الى أي مدى كان العلم باللغة العربية أو الفارسية من صنع علماء من أصلٍ تركي . إن مسائل الأعراق ، في دراسة تاريخ العلم ، في البلاد الاسلامية ، تجعل هذه الدراسة معقدةً للغاية ، ولا تقدم شيئاً مهماً لهذا المجال الذي يهتم بشكل خاص بدراسة التقدم الذي يمكن أن يستفيد منه الناس .

اننا سنتفادى مثل هذه المناقشات التي تبدو لنا نافلة والتي قد تثير مجادلات لا تليق بالبحث العلمي . ان جنس العالِم قليلُ الأهمية وكذلك دينُه . ان دراسة العلم في العالم الاسلامي تصبح مستحيلةَ التحقيقِ إذا تدخلت فيها مثل هذه العناصر . في هذه البلاد ، دَوَّن العلماءُ ، في بادىء الأمر ، نتائج تجاربهم باللغة العربية، يعاونهم في ذلك رعاةٌ للعلم من المسلمين. وهذا ما أتاح الكلام عن « الحقبة العربية » أو عن الحقبة الاسلامية ، التي يقف بها مؤرخو العلوم عادة عند القرن الثالث عشر . وفيما بعد ، استمر علماء مسلمون ، من أعراقٍ متنوعة يكتبون باللغة العربية ، في حين أخذ آخرون يستعملون ، على الأقل جزئياً ، لغاتهم الأمَّ .

إن العلم في العالم الإسلامي ، المعبر عنه في اللغات المتنوعة ، كان محكوماً بحدثين : الإرث العربي من القرون الوسطى ثمّ الميل الى الاغتناء ، بفضل الترجمات ، بمعارف أوروبا المسيحية .

فضلاً عن ذلك أن تأثير الترجمات التي حصلت نقلاً عن العربية بقيت مهمة حتى القرن السادس عشر في الجامعات الأوروبية . إن التأثير الذي أحدثه العرب قد برز في كل فروع الحضارة ؛ فمنذ القرن التاسع حتى القرن الخامس عشر تكوَّن وازدهر أحدُ أوسع الآداب التي كانت معروفة ، في ذلك الحين . وتشهد الاختراعات الثمينة الكثيرة العدد على النشاط المدهش للأفكار في تلك الحقبة ، وظهر تأثيرها على أوروبا المسيحية مما يبرر القول بأن « العرب كانوا في كل شيءٍ أساتذتنا ومعلمينا » (ل . أ . سديوت L . A.Sédillot) .

ولكن العلم الأوروبي أخذ يتحرر بصورة تدريجية من النظام العلمي الاسلامي الذي تَمَثَّلَ الثقافةَ القديمةَ من فارسَ والتراث الكلاسيكي الاغريقيِّ ، مكيفاً كلاً من الاثنين لاحتياجات العرب الخاصة ، ووفقاً لأسلوبهم الشخصي في التفكير .

ودون أن نذهب الى القول « بأن معاصرينا من المسلمين ، لو لم يكن لديهم ، كي يتثقفوا ، الا كتبهم الخاصة ، فانهم سيكونون بالتأكيد أقل علماً من أهلهم في الدين من القرن الحادي عشر » ، فإنه لا يمكننا انكارَ الدورِ المتزايدِ القوةِ الذي يلعبه علم « البلدان ذات المستوى العالي » ، في حياة المسلم

اليوم . لقد استُعْمِلَتْ عدةُ طرق لقطع العلاقة بالماضي وتراثه اللذين حنطا الفكر العربي في اربطة بدأ اليوم فقط يتحرر منها (فيليب . ك . حتي) .

ويتميز القرن الثامنَ عشرَ بدخول العلم الأوروبي . وقامت بعض البلدان بإجراء ترجمات : وكانت تلك هي حال مصر بشكل خاص ، أيام محمد علي ؛ وهناك آخرون استعانوا بالرجال الأوروبيين . من ذلك أن الألماني بولاك ، والطبيب الفرنسي العسكري تولوزان Tolozan وكذلك شليمر Schlimer كتبوا كتباً أصيلة كل في مجاله . أما العلم التقليدي فلم يُنْسَ في هذه النهضة : وفي الهند خصوصاً تمت ترجماتٌ واصدارُ نصوص عربية قديمة .

تدهور العلم العربي وأسبابه ـ في المجالات العلمية ، بعكس ما حصل في أوروبا ، كانت حقب القرون الوسطى هي المشعة في العالم العربي . وبالعكس شاهدت الأزمنة الحديثة تدهوره وتأخره ، أما في الحقبة المعاصرة ـ خاصة السنوات الأخيرة ـ فتشهد البلادُ الاسلامية ، انطلاقة جديدة تتميز بالرغبة الأكيدة من أجل اللحاق بالبلاد ذات المستوى المرتفع ، في المجال العلمي .

وكان هذا ضرورياً جداً ، إذْ ، ابتداءً من القرن الخامس عشر ، أخذت « التعويذة » تحل محل الأدوية ذات الصيغ المعقدة ، الموضوعة سنداً للتجربة . علم الفلك اتخذ مكانة متزايدة الأهمّية . وضيّقت الشعوذة الخناق على المشاهدة والاختبار .

وحول أسباب هذا التراجع ، ضاع المؤرخون في الافتراضات . ونحن سنعرض بعض الأسباب المقدمة لتفسير هذا الرقاد الفكري ، الذي أخذ العلمُ العربي يفيق منه بصعوبة . فقد سبق لأجزاء من العالم الاسلامي أن تلقت في أواخر القرون الوسطى ، هجوم الصليبيين الآتين من أوروبا للاستيلاء على قبر المسيح في القدس ؛ وقامت اضطرابات داخلية تلقي الفوضى في الامبراطورية التي تلقت أيضاً الهجمة المغولية . وفي اسبانيا استطاع المسيحيون اخيراً طرد المسلمين من أوروبا .

1 ـ الحروب الصليبية ـ ان النداء الذي وجهه سنة 1094 م ، الامبراطورُ البيزنطي الكسي كومنين ـ الذي غزا ممتلكاته الأسيوية الأتراكُ السلجوقيون ، حتى شواطىء بحر مرمرة ـ الى البابا أوربان الثاني ، قد أثار من جانب هذا الأخير « الخطاب الذي جر وراءه أوسع العواقب في كل تاريخ البشرية » (ف . ك . حتي) . ان هذا النداء دفع المسيحيين الى التوجه نحو طريق القدس (حيث قبر المسيح) . ولكن بعد حقبةٍ من الاستيلاء المسيحي ، جاءت ردة فعل المسلمين ، التي كان أبرزها انتصارات صلاحِ الدين . وبعد حقبة من الحروب الأهلية ، اضطر آخر الصليبيين الى إخلاء سوريا سنة 1291 .

2 ـ المغول ـ تلقى الشرق الاسلامي أيضاً الهجمة المغولية . في أواخر القرن الثاني عشر ، قام زعيم بدوي هو جنكيز خان بسلسلة من الفتوحات طورها خلفاؤه حتى شكلوا أوسع امبراطورية عرفها العالم : (شملت الصين وفارس وسيبيريا الجنوبية وروسيا الجنوبية ، وأوكرانيا) . وفي سنة 1258 ، استولى خان المغول في فارس على بغداد ، وأوطأ الخليفة سنابك خيله . ثم جاء دور بلاد ما بين النهرين العليا وحلب ودمشق وفلسطين وفيها اصطدم المغول بالمقاومة المصرية . وخضعت المدن المفتوحة الواحدة تلو الأخرى وبصورة منهجية للذبح ثم للنهب ثم للإحراق .

وهكذا دمرت المراكز العلمية مع كل المكتبات ، بل كلُّ كتاب تقريباً ، لأن المغول كانوا يُعادون

كل ما هو مكتوب ، خشية ان ينجو القرآن ، الكتاب المقدس في الاسلام » (مايرهوف (Meyerhof) .

ونجت مصر من هذا التخريب المنهجي ، مما أتاح لهذا البلد أن يبقى بعض الوقت مركزاً علمياً . ثم ان « الظروف الجغرافية الخاصة وعزلتها أجبرت [مصر] أن تتمسك بالتراث ، وبذات الوقت جعلتها أكثر قدرة على الدفاع عن استقلالها أو استعادته . ولم يعد للعلوم والآداب بعد الآن من مأوى إلا مصر وسوريا المجتمعتين ، لمدة طويلة ، تحت نفس الصولجان » (ل. لوكليرك L.Leclerc) .

وفي الغرب المسلم ، لعبت افريقيا الشمالية دور الملاذ لعلم اسبانيا المسلمة . ففي القرن الثالث عشر ، استعاد الاسبانيون والبرتغاليون المسيحيون وبسرعة القسم الأكبر من شبه الجزيرة الإيبيرية (قرطبة سنة 1236 ، واشبيلية سنة 1248) . ولم تبق الا منطقة غرناطة التي استعادها الملوك الكاثوليك سنة 1492 . وانسحب العلم العربي يومها الى افريقيا الشمالية وخاصة الى مراكش

لقد أوقف المصريون الهجوم المغولي بفضل وصول المماليك الى الحكم (1259) . ووصول هذه المجموعة من الارقاء إلى الحكم، وكانوا بدون ثقافة وبدون تراث إداري ،لكان أدّى إلى أسوأ النتائج لو أن العرش لم يقع عقب الهزيمة المغولية « بين يدي احدى الشخصيات الأقوى التي عرفها الاسلام وهو بيبرس » .

وعرفت بدايةُ القرنِ السادسَ عشرَ (1517) انهيار هذه السلالة واقامةَ خلافةٍ جديدة ،، إنما غير عربية هذه المرة ، هي خلافة الاتراك العثمانيين . ان الدولة التركية التي بقيت في القرن الخامس عشر محصورة في الأناضول والبلقان ، سوف تعرف حقبة من التوسع بعد الاستيلاء على سوريا ومصر ، وعلى بغداد والعراق من أيدي الفرس ، وعلى رودس من أيدي الرهبان المضيفينْ (Hospitalier) . ثم أخضعت هنغاريا واليمن وأقامت لها مراكز عسكرية في تونس والجزائر .

اللغة الناقلة للعلم في البلاد الاسلامية . ـ من القرن الثامن حتى القرن الثالث عشر، يمكن الكلام ، مع بعض الفروقات ، عن حقبة عربية في تاريخ العلوم : وإذا لم تكن هنالك وحدة في العرق ولا وحدة في الدين بين علماء هذه الحقبة ، كانت هنالك ، بالتأكيد وحدة في اللغة تضاف الى وحدة الدين مع رعاة العلم وحماته . فالأمراء والوزراء وحتى الأغنياء أيضاً من التجار المسلمين كانوا يتنافسون في حماسهم من أجل ترجمة روائع العلم القديم ، في بادىء الأمر ثمّ فيما بعد من أجل تقدم العلم وكان في خدمتهم من أجل هذا علماء مسيحيون ويهودٌ ومسلمون وحتى زرادشتيون . ولكن هؤلاء العلماء المختلفي المذاهب والأعراق قد كتبوا جُلَّ أعمالهم باللغة العربية .

لقد أعلن البيروني ، ولغتُه الأمُّ الفارسية ، ان العلوم قد نقلت بفعل الترجمة الى اللغة العربية؛ وهي قد ازدادت بها جمالاً .

ثم انه أكّد أيضاً أنه يفضل « الشتيمة باللغة العربية على المديح باللغة الفارسية » .

واعترف عدنان (Adnan) [مؤرخ تركي] ، وهو يتكلم عن التعليم في المدارس التركية ان كل الكتب الكلاسيكية كانت كلها بدون استثناء تقريباً باللغة العربية . وإذاً فقد كانت مهمةُ المدارس

الأولى تعليم الطلاب اللغةَ العربية ، التي ظلت ، كما يقول ، حتى القرن الثامن عشر ، لغة العلوم الوحيدة في تركيا . ويقول نفس المؤلف أيضاً ان « حاجي باشا في مقدمة كتابه « تسهيل الشفاء » اعتذر لأنه كتبه بالتركية بدلاً من العربية ، لأن العربية ، كما يقول ، كانت لغة العلم الوحيدة في تركيا ، كما كانت اللاتينية في الغرب » .

ولكن إذا كانت اللاتينية ، قد أخلت المكان بصورة تدريجية أمام اللغات الوطنية ، لكي تزول تماماً ، فإن اللغة العربية بقيت اللغة الوطنية لقسم كبير من العالم الاسلامي . وعندما استعادت فارس استقلالها . أصبحت اللغة الفارسية بصورة تدريجية اللغة العلمية في هذا البلد . كما يقول لوسيان لوكليرك الذي خلص إلى القول : « ان الأدب « باللغة العربية » ، أخذ يتراجع بصورة متفاقمة ، واستمرت فارسُ المسلمة تكتب بلغتها الخاصة . وبشكل مختلف ، ظل دوماً نفس الأساس العلمي سائداً . وعن طريق الفارسية دخل الطب العربي الى الشرق أكثر مما فعل أيام ازدهاره .

II ـ نظرة حول التقدم الذي حققه علماء الاسلام

لقد كان العلم الحديث والمعاصر ، في البلدان الاسلامية ، موضوع احكام قاسية ، وغالباً مهينة . فعندما تكلم رينود Renaud عن العلماء المسلمين زعم : انه لا يوجد الا مُجَمِّعُوْن ، كان همهم كما يقول ، التركيم والمزج والتكويم ؛ « لقد التهموا المستندات السابقة ، ولم يهضموها ؛ وما التهموه بقي كاملاً صحيحاً في معدتهم ؛ وبامكانك أن تسحب منه قطعاً » . . .

وإذا كان من المؤكد أن التجميعات الذكية نوعاً ما ، والخلاصات الشعرية أو النثرية ، والشروح ، تشكل غالبية الكتب العربية في هذه الحقبة ، إلا أنه من غير المنكور أن بعض المؤلفات تمتاز بأصالة كبيرة ، وتشكل تقدماً حقيقياً بالنسبة الى علوم زمنهم .

وسوف نتناسى التجميعات والكتب التي تفتقر الى الأصالة ، وسوف نستعرض بعض هذه المؤلفات التي عملت على تقدم العلم .

العلوم الحقة . ـ في مجال العلوم الحقة ، ورغم عوادي الزمن ، انتجت البلدان الاسلامية ، على الأقل بخلال القرن الخامس عشر ، أعمالاً ذات قيمة لا جدل حولها . ان هذا القرن كان محكوماً بأعمال مجموعة « أولوغ بك » ، هذا الأمير الذي لقي نجاحاً في المجال الثقافي أكبر من نجاحاته في السياسة والحرب .

لقد ارتقى الى عرش التيموريين بعد أن حكم خراسان ، ومازاندا ثم تركستان ثم ترانزوكزيان [بلاد ما وراء النهر] ثم جعل من سمرقند «مركز الحضارة الاسلامية» (ر. غروست R Grousset)

كان يحفظ القرآن عن ظهر قلب ، وحمى الشعراء وكتب تاريخاً . ودفعه ذوقُهُ الفنيُ الى بناء العديد من الأبنية ، ومنسك له هو أعلى قبة في العالم ، وجامع بزينةٍ داخليةٍ صينيةٍ ، وخاصة مرصده الذي اعتبر احدى عجائب الدنيا .

وكان غياث الدين جمشيد الكاشي أول مدير لهذا المرصد . وتكلم هذا العالم عن الكسور العشرية وجدولها في كتابه « مفتاح الحساب » بقرن ونصف قبل ستيفن Stevin الذي أذاعها بشكل

منهجي سنة 1585 في كتابه « العشري » (Disme) .

أما قاضي زاده الرومي فولد سنة 1337 في بروسه Brousse ، وترك مسقط رأسه وسكن في سمرقند حيث تولى الإشراف على مدرستها . وخَلَفَ غياث الدين جمشيد كمدير للمرصد .

وخلف عليُّ القوشيُّ قاضيَ زاده كمدير للمرصد . وبعد موت « أولوغ بك » ، ذهب القوشي الى أذربيجان . وأرسله أميرها كسفير الى القسطنطينية [اسطمبول] ، حيث عينه محمد الثاني استاذاً لمدرسة القديسة صوفيا [أيا صوفيا] . وهكذا أصبح أول أستاذ لعلم الفلك والرياضيات في تركيا .

واشتغل أولوغ بك ومجموعته في سمرقند التي كان تيمورلنك قد سبق وأعدها لتكون أكبر مركز ثقافي ، مجتذباً اليها رجال العلم والفنانين المشهورين . وأنشأ فيها أكاديمية للعلوم . وتبع ابنه شاه روخ مَثَلَهُ ، فأنشأ مكتبة فخمة ، واستغل علاقاته مع أهم ملوك عصره للحصول على المخطوطات النادرة والأعلى قيمة (سديوت Sédillot) . ولكن أولوغ بك ، ابن شاه روخ وحفيد تيمور ، هو الذي جعلها أكثر شهرة بمرصده ، حيث كان يعمل فيه أكثر من مئة شخص . وكان هذا البناء الرائع بارتفاعه ، مبنياً فوق هضبة كوهيك ويتألف من ثلاث طبقات . وفيه وضعت الجداول [الأزياج] الفلكية الشهيرة التي استعملت ، كما يقول سديوت في كل أنحاء العالم .

كتبت هذه الجداول لتصحيح حسابات بطليموس حول الأعياد ، والتي كانت تتناقض مع الارصاد الجديدة . تضمن هذا المؤلف ،عدا عن المقدمات ، مختلف الحسابات الطقوسية والعصور ومعرفة الزمن ، ومجرى الكواكب ، ومواقع النجوم الثوابت .

وأهمية هذه الجداول تدل عليها الأعمال التي أجريت عليها ، خاصة من قبل جون غريفس (John Greaves) استاذ في أوكسفورد (لندن 1652) ، وقدم هايد Hyde عنها ترجمة لاتينية (أوكسفورد 1665) .

وقدم سديوت Sédillot عنها ترجمة فرنسية للمقدمات ، ونشر ا . ب . كنوبل E.B. Knobel « جدول (كاتالوغ الكواكب) » ، متبوعاً بمصطلحات فارسية وعربية (واشنطن 1917) . وتساءل المؤرخون إذا كان النص الأول قد كتب بالعربية أو التركية أو الفارسية ؛ العديد من المؤرخين يرجحون اللغة الأخيرة .

وأعدم أولوغ بك بأمرٍ من ابنه في 27 تشرين أول 1449 ، تاركاً لعلم الفلك ، بناء ضخماً وعملاً من الدرجة الأولى . يقول سديوت : « معه انتهت الحقبة الفلكية في الشرق » . وهذا ليس صحيحاً تماماً . لقد كشفت دراسة المخطوطات قيماً أخرى مثل هذا العالم الجزائري الأصل « ابن حمزة المغربي » الذي كان كتابه في الحساب وفي الجبر ، باللغة التركية يحتوي أفكاراً رائعة جداً . والمؤلف الذي درس في اسطمبول ، عاد الى هذه المدينة، بعد إقامة قصيرة في موطنه الأصلي . واحتوى كتابُه قواعد مفيدة حول المتواليات . وهذا ما حمل المؤرخ صالح زكي على القول :

« لو أن ابن حمزة ، بدلاً من أن يأخذ سلسلة الأعداد المبتدئة بواحد أخذ السلسلة المبتدئة بصفر ، لكان توصل الى اختراع اللوغاريتم ، قبل نيبر Neper بخمسٍ وعشرين سنة » .

وفي الحالة الراهنة من البحث في تاريخ العلوم الحقة ، في البلاد الاسلامية ، يعتبر ابن حمزة الممثل الأخير الجدير بالإهتمام بين علماء الاسلام . وحتى هذه الحقبة يمكن القول مع سديوت :

« لم يتوقف الشرق عن أن يكون على نار منذ مطلع القرن العاشر ، ولكن العلم كان قد بقي مُشَرَّقاً وممثلوه لم يدعوا أبداً الوديعة المتروكة لهم تتلف » .

العلوم الطبية والنباتية .ـ في هذا المجال تتابعت البحوث . فإلى جانب المجموعات والخلاصات والقصائد التعليمية والتعليقات أو الشروح (إذ بعد التلخيص كان المؤلفون يضطرون الى تقديم شروح تفسيرية لهذه الخلاصات) ، نجد كتاباً يشبه الكتب الكبرى التي أصبحت كلاسيكية في القرون الوسطى انه « تذكرة أولي الألباب » لداود الانطاكي .

وعرف القرن الثامن عشر بين هؤلاء العلماء عالماً متعدد النشاطات هو السيوطي ، الذي يعتبر العالم الأكثر أهمية في الاسلام ، لو أن القيمة كانت مرتبطة باتساع الانتاج المكتوب . انه فعلاً المثقف الأكثر غزارة في كل الآداب العربية . وهو سليل عائلة فارسية ؛ ولد في القاهرة في 3 ت1 سنة 1445 « وقد كتب أكثر مما قرأ غيره » ويذكر له فلوجيل 561 كتاباً ينسبها اليه ، ولكن هذه الكتابات الطبية تدل على عقلية التراجع عندما ننظر بشكل خاص الى ميل المؤلف لاستعمال التمائم والاجراءات السحرية (نويبرجر) .

وليس هو الوحيد الذي يؤخذ عليه مثل هذه الهفوة فالبسطامي في كتابه « الدرة المشرقة » يمزج الوصفات الطبية والإجراءات السحرية والأدعية والأدوية . ويذكر القرن السادس عشر اسمين شهيرين : الأول لما قدمه لعلم النبات والثاني للموسوعة التي وضعها ، وخاصة القسم من هذا الكتاب الذي يعالج الأجسام البسيطة . في مجال علم النبات وضع عالم مسلم كتاباً أصيلاً يستحق مقاماً جيداً في تاريخ العلوم ،انه الوزير « الغساني » الذي كتب سنة 1586 كتاباً عنوانه « حديقة الازهار » حاول فيه أن يُصَنِّف النباتات ضمن ثلاث درجات ؛ وكان هذا الكتاب فريداً من نوعه في الأدب النباتي الشرقي ؛ وقد ظهر الكتاب بذات الوقت الذي ظهر فيه كتاب سيزالبينو « النباتات » في أوروبا ، وفيه أول تصنيف عقلاني للنبات .

يقسِّم المؤلفون الأقدمون ومؤلفو القرون الوسطى النباتات الى أشجار وشجيرات وجنبات [أصغر من الشجيرة] وعشبيات ، وهذا التصنيف يرتكز على المقارنة الخارجية بين الأشكال الظاهرية للنباتات وخاصة الأوراق . وكان لا بد من انتظار سنة 1583 في أوروبا وسنة 1586 في البلاد الاسلامية لتظهر أول محاولة من أجل التصنيف المنهجي . ويعتبر الدكتورُ رينودُ « الغسَّانيَّ » كعقل استثنائي بالنسبة الى عصره والى البيئة التي عاش فيها .

لا شك أننا لا نرى عنده وعياً واضحاً لأهمية الزهرة وخاصة أدوات التناسل الموجودة فيها ، وذلك من أجل إعطاء أساس أكيد للمنهجية ؛ فهو يخلط تحت اسم الخيوط بين المدقة [عضو التذكير] والسداة [عضو التأنيث] . وتمييز أجناس النباتات بقي غير واضح كما كان عند الأقدمين . إنما يتجلى من الكتاب ، من جهة أولى ، فكرة التسلسل بين صفات النباتات ، ومن جهة أخرى مفهوم القُربى بين الأنواع النباتية حيث يجمعها تحت تسمية مؤلفة من كلمات ذات جموع غريبة ابتكرها .

داود الانطاكي .ـ ولكن العالم الأكثر أهمية في القرن السادس عشر الاسلامي هو من غير نزاع داود الانطاكي وأشهر طبيب عاش في الشرق منذ القرن الثالث عشر . ويمكن القول أن به انتهى عهد الطب العربي نهائياً (لوسيان لوكليرك) .كان أعمى ورغم ذلك فقد مارس الطب وعلّمه كرئيس أطباء مصر في القاهرة ومات في مكة سنة 1599 .

وكتابه «تذكرة الرجل الذكي» يتألف من مدخل ومن أربعة أقسام طبية ومن خاتمة . وإذا كان من المسلم به أن القسم الطبي لا يحتوي على شيءٍ مميز جداً ، إلا أن القسم الثالث كبير الأهمية . فهو قد ذكر فيه أكثر من 1700 عَقارٍ في حين لم يذكر ديوسكوريد الا حوالى 1000 . وذكر ابن سينا 800 ، وابن البيطار 1400 تقريباً . وأعطى ملخصاً غنياً لأقوال سابقيه وكان يكملها أحياناً . من ذلك مثلاً ذكره لخصائص الزئبق كمضاد للسفلس . والسفلس بالذات وُجِدَ في ملحق « التذكرة » وهو مُؤلَف ، بعد الوفاة وضعه تلامذة داود ، الذين نسخوا المقال الموجود في كتاب آخر للأنطاكي : النوشا (Nusha) . ودخلت أدوية جديدة في المادة الطبية العربية منذ القرن الثالث عشر ومنها القهوة التي ذكرت لأول مرة هنا .

المؤلفات المعجمية .ـ وخلف الانطاكيَّ في وظيفة رئيس اطباء مصر في القاهرة تلميذُه القوسوني ومات فيها سنة 1634 . كتب القوسوني فيها كتب « معجماً موسوعياً ، وقانوناً للمختصين » وهو مستخرج من كل الكلمات الطبية والصيدلانية الموجودة في معجم « لسان العرب » .

وقد أنهى مؤلفون آخرون كتبهم بملاحق معجمية . وفي أغلب الأحيان كان الكتاب يضيع ويبقى ملحقُهُ الذي كان أحياناً موضوع دراسات نقدية . ويمكن أن نذكر « تحفة الأحباب » (هدية الى الأصدقاء حول خصائص النباتات والأعشاب) ، و« مجموعة المرادفات » وهو مستخلص من كتاب عام في الطب لم يصل الينا ؛ وهو يحتوي مجموعة من المعلومات المعجمية المفيدة لمعرفة الكلمات التقنية في علم الأعشاب وعلم الأدوية المغربية ؛ ومؤلف هذا الكتاب مجهول . وبعض التعابير فيه تسمح باعتباره من مؤلفات القرن السابع عشر . وتلك هي أيضاً حال كتاب « كشف الرموز » (مجموعة من الأحجيات في تفسير الأدوية والأعشاب) ويتضمن هذا الكتاب ألفاً (1000) من البنود تلخص وجهات نظر ابن سينا وابن البيطار وداود الانطاكي وهذا الكتاب جزائري مستلهم من الشرق .

وأهمية هذا الكتاب تقوم على وصف بعض الأدوية الجديدة مثل الغاياك والساسفراس (الغار) والفشاغ ، والكينا والسكينا مما يكشف العلاقات مع أوروبا . ويجد ل . لوكليرك فيه تعابير محلية بعضها مأخوذ من لغة القبائل ، كما أن الكتاب خلوٌ من الأساليب السحرية .

وفي القرن التاسع عشر قام مؤلف آخر مراكشي من مدينة فاس اسمه عبد السلام بن محمد العلمي ، درس الطب في مدرسة الطب في القاهرة التي أسسها كلوت بيك تحت حكم محمد علي . ترجم العلمي كتاب داوود الانطاكي « أنوار اللغة في تفسير الأجسام البسيطة » الى لهجة أهل فاس. وحاول أن يضع تعابير مقابل التعابير الصيدلانية الموجودة في الكتاب الثالث من « التذكرة » لداود .

الجغرافيا وعلوم الإبحار .ـ كانت الجغرافيا وعلم الأبحار في حالة ازدهار مستمر ولا يمكن أن

تخفي ذكر ابن ماجد أسد « البحر الهائج » الذي لم يكن برأي غابرييل فرّان الا «مالينو كاناكوا» وهو البحار الذي قاد ڤاسكو دي غاما من شاطىء افريقيا نحو كلكتا في الهند .

وهناك جغرافي آخر كان همزة وصل أيضاً بين بقايا العلم العربي وأوروبا القرن السادس عشر ، انه ليون الافريقي ، واسمه العربي الحسن بن محمد الوزان الزياتي الذي ترك غرناطة مع والديه ، وكان عمره يومئذٍ بضع سنوات على أثر استيلاء الملكين الكاثوليكيين فردينان وايزابيل على المدينة سنة 1492. ولجأ إلى فاس وفيها درس ثم أخذ يقوم بالرحلات . وفي إحدى رحلاته ، وربما أثناء إرساء في جزيرة جربة في تونس أسره القرصانُ الصقلي بيترو بوڤوديغليو وقدمه هدية الى البابا ليون العاشر . ونصّره هذا الأخير ، وبعد سنة من الحبس أعطاه المعمودية سنة 1520 تحت اسم جوهانس ليو دي مدسيس . كتب ليو وصفاً لافريقيا ، فيه بعض الأغلاط ، ذلك أنه كتبه من ذاكرته . وقد حرر الكتاب بالإيطالية ثُم ترجمه الى اللاتينية ي . فلوريان ثم الى الفرنسية ج . تمبورال . ثم نشره ثانية بالفرنسية م . آ . ابولار .

وقد ترك الجغرافيون الأتراك كتباً قيمة ، أكثرها مكتوب بلغتهم . ان سياسة التوسع الاقليمي وظهور القراصنة قد عملا على تطوير علم الملاحة . حتى في دراسة مخصصة أساساً للعلم المعبر عنه باللغة العربية ، لا يمكن إغفال ذكر علماء مسلمين أمثال بريري ـ ريِّس (أميرال تركي ترك لنا ، فيما ترك خارطة مأخوذة عن خارطة كريستوف كولومب) . وكتابه « البحرية » هو دليل سواحل البحر المتوسط . وقد لقي بريري ريس نهاية مفجعة : فقد أمر سليمان القانوني بإعدامه سنة 1554 ، على أثر وشاية كاذبة .

حاجي خليفة وفهارسه .ـ سواء تعلق الأمر بالعلوم الحقة ، الطبيعية أو الطبية ، رأينا أن القرن السابع عشر يمثل الحقبة التي بعدها قلما وجدت أشياء حتى الآن تستحق الاهتمام والحفظ بالنسبة الى تاريخ العلوم في البلاد الاسلامية التي تستعمل اللغة العربية كلغة أداء . وهناك مؤلف يستحق إشارة خاصة في هذا القرن السابع عشر هو الفهرسة المنهجية للأدب العربي في كتاب « كشف الظنون » . والمؤلف ، الذي رافق عدة حملات عسكرية « كموظف مكتبي لا كمحارب » انتهى به المقام في اسطمبول لكي « يتفرغ ، كما يقول ، للحرب المقدسة الكبرى (العلم) تاركاً الحرب المقدسة الصغرى (الجهاد)». وهذا أمر عجب لأنه اكتسب اسمه « حجي » من كونه قد زار مكة حاجاً . وقد استعمل قسماً كبيراً من الارثين اللذين ورثهما لتكوين مكتبة مهمة ، وانصرف الى الدراسة حتى وفاته سنة 1657 . لم يقم أبداً بدراسات منتظمة في المدارس ، ولكن هذا لم يمنعه من كتابة عشرين مؤلفاً منها « كشف الظنون » ، المكتوب بالعربية ، والمنشور بالعربية وقد ترجمه الى اللاتينية فلوجل (Flügel) .

ويعطي مدخل هذه الموسوعة الضخمة الشرقية معلوماتٍ واسعة عن تاريخ العلوم وعن الفلسفة باللغة العربية (المؤرّخ عدنان : عدنان عبد الحق ولد سنة 1882). هذا المؤلف يسهل عمل المؤرخ لتاريخ العلوم في البلاد الاسلامية حتى القرن السابع عشر ، أي حتى نهاية الحقبة التي وجدت فيها مؤلفات جديرة بالاعتبار كتبت باللغة العربية .

استنتاج .ـ رأينا أنه رغم الصعوبات الداخلية والخارجية (الصراعات الداخلية والحروب الصليبية والهجمات المغولية) ، لا يمكن انكار استمرارية حياة علمية ، في العالم الاسلامي . بالطبع ان

هذه الحياة لا يمكن أن تقارن بالحياة التي كانت مزدهرة بخلال نفس الحقبة في أوروبا . ولا هي أيضاً قابلة للمقارنة بالنشاط العلمي الذي عرفته نفس البلدان الاسلامية بخلال القرون الوسطى .

ويبقى أمامنا ، لكي نكمل البحث ، أن ندرس العلاقات العلمية بين البلدان الاسلامية وأوروبا . ان هذه العلاقات التي كانت مزدهرة جداً من القرن الحادي عشر حتى القرن الثالث عشر ، وهي حقبة ترجمت فيها روائع العلم العربي الى اللاتينية ، قد تراجعت بصورة تدريجية . بعد حقبة ترجمة العلم العربي الى اللاتينية ، جاءت حقبة الأعمال الموسوعية التي كانت كثيرة في القرن الماضي . بخلال هذا الوقت ، وباتجاه معاكس ، كان اهتمام البلدان الاسلامية بالعلم الأوروبي لا ينفك يتزايد ، ولهذا لا يمكننا أن ندرس العلم في البلاد الاسلامية ، في القرن العشرين ، والذي سوف يعالج في المجلد اللاحق ، دون الاهتمام بمظهر هذه العلاقات العلمية بين أوروبا وهذه البلدان الاسلامية .

وحتى لا نقطع وحدة هذا العمل فإننا سندرس مجمل العلاقات بين أوروبا والبلاد الاسلامية في هذا الفصل .

مراجع الفصل الرابع

Outre les articles parus dans les revues spécialisées *(Archives internationales d'Histoire des Sciences, Isis, Journal Asiatique)*, on peut consulter les ouvrages suivants :

A. ADNAN (-ADIVAR), *La science chez les Turcs Ottomans*, Paris, 1939 ; W. W. BARTHOLD, *Four studies on the history of Central Asia*, v. II (Ulugh-Beg) ; B. BEN YAHIA, « La science dans les pays musulmans au XVIe siècle. Dawud al-Antāki et sa Tadkira », in *La Science au XVIe siècle*, Paris, 1960 ; C. BROCKELMANN, *Geschichte der arabischen Litteratur*, 5 vol., Berlin et Leiden, 1898-1942 ; A. EPAULARD, *Jean Léon l'Africain. Description de l'Afrique*, Paris, 1956 ; *Encyclopédie de l'Islam* (divers articles) ; ḤAJJI KHALÎFA (divers articles) ; P. K. HITTI, *Précis d'Histoire des Arabes*, trad. fr., Paris, 1950 ; L. LECLERC, *Histoire de la Médecine arabe*, t. II, Paris, 1876 ; A. MIELI, *La science arabe et son rôle dans l'évolution scientifique mondiale*, Leiden, 1939 ; MUHIBBI, *Khulasàt al-Athar*, t. II ; H. P. J. RENAUD, Additions et corrections à Suter (*Isis*, v. XVII) ; ID., « Un essai de classification botanique de l'œuvre du médecin marocain du XVIe siècle » *(Mémorial Ḥ. Basset)* ; ID., « De quelques acquisitions récentes sur l'histoire de la médecine au Maroc » *(Ve Cong. Int. Hist. Méd.*, Genève, 1925) ; ID., « Les Ibn Bāsa » (*Hesperis*, 1937) ; H. SUTER, *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke*, Leipzig, 1900 ; G. SARTON, *Introduction to the History of Science*, t. III, v. II, Baltimore, 1948 ; E.-A. SÉDILLOT, *Prolégomènes des tables astronomiques d'Oloug-Beg*, Paris, 1847-1853 ; ID., *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, Paris, 1844 ; ID., *L'histoire des sciences chez les Orientaux* ; TOGHÀN, *Tarikh al-'Arab al Ilmi fil-Riyadhiyat wa Falak* ; F. WÜSTENFELD, *Geschichte der arabischen Aerzte und Naturforscher*, Göttingen, 1840 ; S. ZAKÎ, *Athār-i-bāqiya* (« Histoire des Mathématiques arabes »), en turc, 2 vol., Istanbul, 1911 ; A. SAYILI, *The Observatory in Islam*, Ankara, 1960.

الفصل الخامس

بدايات العلم في فيتنام

بين الهند والصين يقع عدد من « الهند الصينيات » الثقافية والسياسية والجغرافية ، أي بلدان تلقت بآنٍ واحد ، وبدرجات متنوعة ، تأثير الحضارتين الكبريين في آسيا ، الحضارة الهندية والحضارة الصينية .

تشتمل الهند الصينية الجغرافية على مجموعة غربية متهندة (بيرمانيا ، سيام ، شامبا وكمبوديا) وعلى مجموعة شرقية متصينة ، متكونة أساساً من فيتنام . على هذه المنطقة الأخيرة ، الفيتنام ، سوف تقتصر دراستنا .

منذ العصور الحجرية الجديدة ، تشكلت النواة العرقية الفيتنامية السابقة، المركبة المعقدة ربما ، في شمال وفي وسط فيتنام ؛ ان ثقافتها لا تبدو أنها تختلف عن ثقافة المناطق الأخرى من الهند الصينية في نفس الحقبة: فخاريات ، أدوات من الحجر المصقول ، صيد ، قطاف . أما الزراعة ، وتربية النباتات المدجنة الصالحة للأكل ، وتربية المواشي فلا يبدو أنها كانت قد وجدت . أما عصر المعادن فلم يبدأ إلا في القرن الرابع والقرن الثالث قبل المسيح ، هذا إذا عدنا الى التدوينات التاريخية الأكثر تفاؤلاً حول ازدهار الحضارة الدونغصينية البرونزية [دونغ = فيتنام] . في نفس تلك الحقبة تقع بداية عصر الحديد في فيتنام ، وبالفعل ، في منطقة « دونغ ـ صون » الى جانب الأشياء البرونزية ، وجدت بعض الأسلحة والأدوات من الحديد . وتوجب انتظار بداية العصر المسيحي ، حتى يتعمم الحديد على حساب البرونز . ولكن تقنية البرونز وتقنية الحديد قد دخلتا حتماً من الصين التي كانت حضارتها أكثر تقدماً بالتأكيد . وانطلاقاً من السنة 111 قبل المسيح ؛ أثّر الاستعمار السياسي لفيتنام من قبل الصين ، والذي استمر حتى سنة 968 ب م، ثم أتبع حتى سنة 1884 بحقبة « دوران في الفلك » ، تأثيراً قوياً في تطور الحضارة الفيتنامية وفي تطور الثقافة والعلم الفيتناميين .

فيتنام مستعمرة صينية ـ لا نعرف شيئاً مؤكداً عن حالة العلوم في فيتنام قبل الغزو الصيني .

وبعد هذا الغزو ، ترسخت الحضارة الصينية في كياويتشي (الاسم الصيني لشمالي فيتنام) بشكل نهائي ، وأصبحت اللغة الصينية اللغة الرسمية ، والعلمية ، والأدبية ، والدينية في فيتنام . ومنذ القرن الثاني من عصرنا،ظهرت البوذية في فيتنام ، جلبها الكهنة « بونز » المبشرون ، الآتون من الصين أو من الهند ، والذين ربما جلبوا معهم عناصر من العلم ومن التقنيات الهندية والصينية . ولكنا نفتقر الى الوثائق حول هذه النقطة . وفيما بعد تبين أن بعض الكهنة كانوا من المثقفين الكبار ، ومن علماء النبات ومن الأطباء الكبار . وبخلال هذه الحقبة من الاستعمار الصيني ، استطاع العلم الصيني أن يدخل الى كياويتشي من خلال كتب مستوردة ، وأيضاً عن طريق فيتناميين ذهبوا يدرسون في الصين . ولكن تصدير الصين للموسوعات ، والوسائل التقنية ، والنباتات المجهولة الى فيتنام ، كان ، في العديد من الحالات ممنوعاً . ولهذا لم تتحقق عملية التصدير ، في بعض الأحيان ، الا سراً بفضل خدع ماهرة ، وربما كان الكتاب العلمي الوحيد الذي دوّن في فيتنام ، هو مجموعة نباتات الأقاليم الجنوبية المؤلفة من كي هان من زمن تسن Tsin وعنوانه « نان فانغ تسا آو موتشوانغ » .

فيتنام مملكة اقطاعية تابعة للامبراطورية الصينية : في فيتنام القديمة لم يكن للعلم الاختباري كما تفهمه أوروبا، أي وجود ان صح القول . ان هذه الظاهرة كانت ، فضلاً عن ذلك ، عامة في آسيا ، والصين كما الهند ، قبل اتصالها بالغربيين ، كانا يمتلكان علماً تجريبياً واقعياً وتقنيات . ان الثقافة الصينية ، القليلة الاختلاف عن ثقافة القرون الوسطى الأوروبية ، تعطي المكانة الفضلى والتشريف للأدب وللفلسفة وللأخلاق ، على حساب الانجازات التقنية والعلمية . ولكن حتى بالنسبة الى هذه الانجازات ، كانت البنية الاجتماعية في جوهرها ريفية وقروية في فيتنام ، وإذاً كانت أقل ملاءمة لنموها وتطورها مما هي عليه في الصين ؛ وبهذا الشأن بقيت الجماهير المدينية الفيتنامية ، في سنة 1939 ، أقل من نسبة 3.5% . إن هذه البنية تختلف عن بنية بعض الأقاليم الصينية ، حيث كانت حضارة من نمط مديني ومركنتيلي [محب للربح التجاري] منفتح إلى حد كبير على التأثيرات الخارجية ، تستطيع أن تقدم ظروفاً أفضل لنمو المكتسبات العلمية والتقنية . ان اللغة الصينية في الصين وفي فيتنام ، ثمّ في فيتنام اللغة الفيتنامية المدونة بالحروف الصينية (شونوم) ، بحكم قدرتها على ترجمة معان دقيقة ملموسة أكثر من الأفكار المجردة ، وبحكم عدم وضوحهما منذ أن يقتضي الأمر مفاهيم علمية حديثة ، كانتا حاجزاً حاسماً مانعاً من تقدم العلم .

فضلاً عن ذلك إن الفكر المحافظ لدى النخبات والطبقات الحاكمة ، واحتقارهم جميعاً للتقدم المادي والأجنبي ، قد منعا لمدة طويلة كل تقدم في المعارف . ان العالم الصيني الفيتنامي كان مقيداً بالتراث وبالسلطات السياسية التي كانت تخشى كل تطوير وكل ثورة ثم بنسيج من القواعد ومن الأوامر الأخلاقية التي كانت تحبسه [أي للعالم الصيني] ضمن أساليب الماضي وعاداته . وليس الأمر كما يظن غالباً أن فكر الصينيين أو الفيتناميين كان غير قادر على تتبع مسارات الفكر الاستقرائية والاستنباطية للوصول بها الى الاستنتاجات القصوى ؛ في زمننا هناك عدد كبير من المفكرين الاسيويين ، المتدربين وفقاً للقواعد الغربية ، العاملين بلغة غربية ، أو بلغتهم المكيفة مع العلم الحديث ، يستطيعون التوصل الى نتائج أصيلة ، في كل مجالات البحث العلمي .

ولكن بخلال القرون الطويلة من السيطرة الصينية، اكتفى الفيتناميون بإدخال التقنيات الصينية الى بلدهم . وكان السفراء الفيتناميون المكلفون بنقل الاتاوة الى الصين هم نقلة هذه التقنيات الرئيسيين الى بلدهم .

وفي ما يتعلق بالمطبعة والمؤلفات المحفورة على الخشب لم تظهر على ما يبدو إلا في القرن السابع عشر ، وهذا يفسر أن نصوصاً مهمة قد بقيت لمدة طويلة مجرد مخطوطات أي غير معروفة كثيراً . ذلك هو حال الموسوعة الطبية موسوعة لان ـ أونغ التي كانت مخطوطاتها الأولى من سنة 1770 أما أولى محفوراتها فتعود الى سنة 1886 .

وخلال حقبة التبعية للصين ، فرض الاحتلال الصيني للملوك منع ضربة قاسية على التقدم العلمي في فيتنام . وفي هذا المجال وطيلة ست سنوات (1407 -1413) احتلت الجيوش الصينية شمال فيتنام ، وصادرت السلطات الصينية كل الكتب المهمة الموجودة في البلد وأرسلتها الى الصين ، كما أن قسماً من المثقفين والتقنيين الفيتناميين نقلوا الى الصين . ولإكمال التّغْيين في فيتنام ، نشر الصينيون في فيتنام عدداً محدوداً من الكتب الكلاسيكية ولكنهم استبعدوا المؤلفات العلمية والتقنية من المستوردات . وابتداءً من ذلك الوقت تشكلت طبقة من المتعلمين قوية وأصبح اختيار النخبات يتم من خلال مسابقات تتم كل ثلاث سنوات كان من شأنها قبل الغائها سنة 1918 ، فقط ، استبعاد كل عامل علمي ، وكل رغبة باكتشاف شيء جديد من الثقافة الفيتنامية . ورغم ذلك حدث حدثان لاحقان فأيقظا ، من هذا الخدر ، عَقْلَ النخبات الفيتنامية :في القرن السادس عشر مجيء الأوروبيين ؛ ثم في النصف الثاني من القرن السابع عشر تواجد السلالة الأخيرة من المنغ ، في جنوب الصين وفي برمانيا ، يُحيط بهم المبشرون المسيحيون من أمثال الأب بوام (هنري برنار ميتر) . وأخيراً ، ومنذ القرن السابع عشر عمل المبشرون الأوروبيون في فيتنام ، لكي يسهلوا مهمتهم التبشيرية على رومنة اللغة الفيتنامية (أي كتابتها بأحرف روما) . وهكذا استطاعوا نقل هذه اللغة دون المرور بعبودية الأحرف الصينية و« نوم » (nôm) . وتطور هذا الأسلوب المسمى كوك ـ نغو وانتشر بين الجماهير المسيحية في بادىء الأمر . ولم ينتشر بشكل واسع ، ولم يستطع استبعاد الحروف الصينية و« نوم » الا تحت السيطرة الفرنسية . هذا الاحلال بحروف أبجدية لأسلوب في الكتابة يصوّر الأفكار ساهم في التقليل من شأن الأمية ، وساعد على ترجمة الكتب العلمية الغربية الى اللغة الوطنية .

وكان أباطرة فيتنام مثل نظرائهم من الصينيين يحبون إحاطة أنفسهم بالمبشرين ، الضليعين ، بعضهم بالعلوم المحضة ، وبعضهم الآخر بالطب وبالعلوم الطبيعية .

وفي مجال علم الفلك كان الفيتناميون قبل القرن السابع عشر بكثير يتبعون معطيات علم الفلك الصيني القائم على رصد الكواكب لوضع الروزنامة . بالمقابل ، وكما في الصين نشر المبشرون في فيتنام بعض المعارف الفلكية .

من ذلك أن وليم دامبيه W.Dampier قال عن سكان تونكين في كتابه الذي صدر سنة 1688 بعنوان «رحلة الى تونكين» : «البعض منهم قد أحرز تقدماً كبيراً في علم الفلك منذ أن جاء اليسوعيون الى هذه البلاد . فعلموهم دوران الكواكب وكذلك الفلسفة الطبيعية والأخلاق » .

ومن بين العلماء الرياضيين والفلكيين والجيومتريين والفيزيائيين ، الذين استخدمهم منه - فنغ (1691 -1725) نجد أسماء الأب انتونيس دي ارنيلدو والأب ليما . واستخدم فو - فنغ (1738-1765) الآباء جان سيبرت ، وسلامنسكي ، وجان كوفلر ، ومونتيرو وجوزيف نوجيبور ، وقد بنى الأب مونتيرو مضخة على النار . وفيما بعد أدهش الأب بواسيران (1797) بلاط آنام في تجاربه حول الكهرباء والبالونات .

وكان الأطباء كُثراً أيضاً ، سواء كانوا رجال دين أم علمانيين . من ذلك أنه بعد إقامة الأباتي ترانتيوس (1619 حتى 1621) وم. بوام (1645) ، قام العديد من المبشرين بوظائف أطباء الى جانب الاباطرة والأمراء . تلك كانت - في القرن السابع عشر - حال الآباء ب. داكوستا وفاشت، ولانغلوا الذي أسس مستشفى في هيوي Hué سنة 1680 وأصبح طبيب البلاط . تلك كانت أيضاً ، في القرن الثامن عشر ، حال الآباء سانا ، وس. بيرس ، وسيبرت وج. كوفلر ، وجان دي لوريرو (1710-1791) . وكان هذا الأخير مؤلف كتاب مهم « نباتات الكوشنشين » (1790) .

ومن بين الأطباء العلمانين الذين عاشوا في بلاط هيوي نذكر : الانكليزي دوف (1747-1824) الذي أجرى عملية ناجحة لـ ڤو - فونغ ، من ناسور مخرجي ؛ وفيليبرت ، جراح الشركة الفرنسية للهند، الذي جاء إلى توران، مرسلاً من قبل دوبليكس قبل 1750؛ ثم دسبيو (توفي سنة 1824)، الذي نزل في كوشنشين سنة 1789 ، وذهب سنة 1820 ، يبحث في ماكاو عن أول لقاح ضد الجدري استعمل في فيتنام ؛ ثم ب. م. ديارد (1794-1863) ، الذي قام بأول استكشاف للحيوانات والنباتات في فيتنام ؛ ثم جورج فنلايزون الذي رافق كجراح بعثه كراوفورد الى سايغون ، وتوران وهيوي (Hué) (1822) .

بين 1820 و1862 ،حاولت فيتنام كما حاولت الصين الافلات من قبضة الغرب ؛ وذلك بقطع كامل للعلاقات مع البلدان التي كانت تستطيع يومئذٍ أن تقدم لها وسائل التقدم . ومع ذلك فقد سمح لبعض الفيتناميين بأن يسافروا الى الخارج . وتحققوا من الخطر المتمثل بعزلة بلادهم وبتجاهلها للعلم الحديث . ترك فام - فو - تو (1820-1881) ، وقد أرسل ببعثة الى الصين ثم الى فرنسا ، كتاباً عن النبات الطبي، ومبادىء حول الابحار وحول استكشاف مناجم الفحم ، ومجموعة علمية . وحصل نْغُون - ترروونْغ - تو (1828-1871) الذي رافق الاسقف غوتيه الى أوروبا ،وذلك بعد احتلال الكوشنشين من قبل فرنسا (1863) ، على الأذن بانشاء كلية علمية غربية (1867) وبإرسال طلاب الى فرنسا (1870) .

في هذه الأثناء كان التقنيون والأطباء ، وهم في معظمهم من العصاميين ، معزولين تماماً ومفتقرين إلى الكتب الأوروبية الصالحة للترجمة، وذلك من أجل إقامة تيار فكري دائم. ولم تكن لغة الكوكنغو قد شاعت بين الناس بعد، ولم يكن الأجانب يتصلون الا بأوساط اجتماعية محلية ضيقة .

وبالمقابل كان المبشرون ، أكثر اهتماماً بالعلوم من نظرائهم في الجامعة الاسبانية في الفيليبين ومكسيكو . ولكن لم تتطور حولهم هذه « التجارة من الأنوار » التي عملت في الصين على إشاعة الكينا والدورة الدموية ، وفي اليابان على إنشاء المدرسة الطبية المسماة « مدرسة برابرة الجنوب ». واشعاعهم لم

يَعُدُّ المحيطين بالملوك المتنورين في فيتنام .ثم ان المثقفين الفيتناميين المعاصرين لم يبدُ أنهم عرفوا لا الأدب العلمي الصيني اليسوعي ، ولا الكتب العلمية الصينية التي كانت صدى لها .

وتدل لوائح ومراجع المنشورات ان الكتب التاريخية والدينية والأدبية كانت أكثر عدداً بكثير من الكتب العلمية . ثم يجدر أن لا نعد بين الكتب الأخيرة ، كما كان يفعل الفيتناميون في الماضي ، الكتب المخصصة الى العلوم الكاذبة أمثال : الضرب بالرمل ، وقراءة الكف ، والفرامة ، والتنجيم . وحدها الجغرافيا والطب ، وعلم العدد كانت موضوع انتاج مفيد . في هذه المجالات ، وخاصة في الطب ، لم يكن العلم الفيتنامي نسخة طبق الأصل للعلم الصيني . في فيتنام ، كما في اليابان وكوريا ، عمل الزعماء المحليون ضد المجلوبات الأجنبية . ورغم ثقافتهم الصينية العميقة ، لم يرتض الأطباء الفيتناميون لا بكل النظريات ولا بكل الإجراءات ولا بكل الاستطبابات التي كانت لدى معلميهم الصينيين ، وإذا كانوا قد قبلوا هؤلاء في مجمعهم ، فقد ضموا اليهم معلمين وطنيين أمثال توي - تن ولان - أونغ .

الجغرافيا .- كانت الجغرافيا في فيتنام تعتبر كملحق تابع للسياسة أكثر مما كانت تعتبر مجالاً علمياً . ووفقاً للطريقة الصينية ، كانت تقوم على دراسات خاصة اقليمية ، وعلى عدد كبير نوعاً ما من خرائط السواحل ومن بيانات الرحلات . وأحَدُ أقدم كتب الجغرافيا المعروفة وضع حوالى سنة 1333 من قبل لي تاك Le-Tac ، وهو فيتنامي لجأ الى الصين (طبعة يابانية ، 1884 ؛ تُرجم الى الفرنسية بفضل ش. سنون ، 1896) . وهناك جغرافية قديمة هي جغرافية نغوين ترايي (1380-1442) . ومن آخر القرن الخامس عشر حتى 1882 ، صدرت عدة كتب ، مزينة بالخرائط وبالتصاميم ، ونشرت بأمر امبراطوري . وكان القرن التاسع عشر العصر الذهبي للجغرافية الفيتنامية .

الرياضيات .- في القرن الخامس عشر ، عُرف مؤلفان مهمان : الأول ڤوهوو ، وكان مؤلف « طريقة كاملة جداً للعد » (داي ذانه توان فاپ) ، وفيها تعليم لقياس أو كيل مساحات الرز . والثاني لوونغ - تي - ڤه ، أعاد تنقيح وطبع كتاب منافسه ، وأدخل الى فيتنام الطريقة الصينية بالعد بواسطة المعداد .

الطب .- ونظراً لما يتسم به الطب من سلطة ، فقد اجتذب الفيتناميين كثيراً . ونذكر تعاصر نظامين . الأول جنوبي وهو مجموعة من الأعراف الشعبية المنقولة شفوياً ولا تستعمل الا مستحضرات الطبيعة الفيتنامية ؛ والآخر ، النظام الشمالي ، وهو بالعكس من الأول ، نظام علمي منقول بواسطة الكتب المستمدة مباشرة من الطب الصيني . وأهم المواضيع التي عالجها هذا الطب الصيني - الفيتنامي هي الطب العام ، وطب الأطفال ، وطب النساء ، والطب الشرعي ، والمادة الطبية ، والأمراض المعدية . وكان الأطباء ، كبقية الهيئات الحرفية ، لهم عباقرتهم الحماة ، أي أطباء مشهورون يحيون ذكراهم في بعض التواريخ في معابد خاصة . ان أحد هذه المعابد كان ما يزال موجوداً سنة 1954 . وكان الأطباء ، الى حد ما ، مراقبين بواسطة جهاز وطني (ي - تي بو) يهتم عرضاً بتعليم الطب . في الواقع يتم تعلم الطب لدى طبيب مشهور يفتح مدرسة طب ، غالباً ما تكون أيضاً أدبية وفلسفية .

ولكن يوجد أيضاً أطباءعصاميـون ،وأطباء حملة جوائز مسابقات أدبية ، يستطيعون الوصول الى الكتب الكلاسيكية الصينية .

وبالإجمال ، ان القيمة المهنية للأطباء الفيتناميين ، ليست مما يستهان به . لقد قُيِّمَت من قبل المبشرين ، ومن أشهرهم الكسندر دي رودس (1591-1660) الذي كتب يقول :

« قد نهزأ من هذه الشعوب ، ان قلت ان مطلق انسان يستطيع أن يكون طبيباً إذا أراد ، ولكني أنا الذي كنت هنا بين أيديهم وكنت شاهداً على ما يمكنهم فعله ، أستطيع القول أنهم ليسوا أبداً أقل مستوىً من أطبائنا » .

إن المؤلفات الصينية التي أثرت أكثر في الطب الفيتنامي هي ني ـ كنـغ (« قانـون الطب ») ، و« النان كنغ » (« كلاسيك يعالج مسائل صعبة ») ، الموكنـغ («نظام النبض ») ، الكن ـ كـوي (« وصفات الصندوق الذهبي ») ، والشانغ هان لوين (« كتاب الأمراض التي يسببها البرد ») . من بين الأطباء الصينيين الذين الهموا كثيراً زملاءهم الفيتناميين ، نذكر : لي شي ـ تشن (1518-1593) ، يوتشانغ (القرن التاسع عشر) ، فونغ شي وفونغ تشاو ـ تشنغ (القرن الثامن عشر) .

وأكبر طبيبين فيتناميين هما توي تنه ، ولان ـ أونغ . والأول هو كاهن تعلم في الصين علم النبات الطبي ووضع كتاباً بالأدوية الفيتنامية (القرن الرابع عشر) ، وصلنا منه ثلاث طبعات محفورة(1717، 1726، 1761) . وقدم وصفاً لـ 650 دواءً فيتنامياً خالصاً ، تفضل من هذه الناحية على الأدوية المستعملة في شمال الصين . انه أول طبيب فيتنامي أظهر أصالة حقيقية . وكتابه المكتوب على غرافيا مختلطة صينية شعبية وقد ترجم جزئياً الى الفيتنامية والى الفرنسية . وكتب لان اونـغ (1720 ـ بعد 1786) بالصينية موسوعة طبية من عشرة مجلدات يوجد منها عدة تراجم فيتنامية . وهذا المؤلف المتميز باتجاهاته العقلانية وبوضوحه ، وبخلقيته العالية مؤسس على تجربة شخصية طويلة . ان حقبة حكم الامبراطور جيا ـ لونغ كانت حقبة مشرقة بالنسبة الى فيتنام والى الطب الصيني الفيتنامي . ان تنظيم الصحة العامة قد انجز إدارياً بين 1805 و1814 ؛ والتعليم الرسمي للطب سوف ينظم فيها بعد في هوي Huê سنة 1850 ، تحت حكم تو ـ دوك . من المعروف بالنسبة الى حقبة آل نغوين وجود عدد كبير من المؤلفات الطبية ترجم منها كتاب واحد الى الفرنسية هو « كتاب تصحيح الأخطاء » وضعه فونج ـ هور ـ هوي نقلاً عن كتاب مي يوان لو ، وقد ترجمه الى الفرنسية ليتولف سنة 1909 .

وخلال الفترة الاستعمارية التي سوف نعالجها في المجلد اللاحق اتجه العلم الفيتنامي الى اتجاهين مختلفين : من جهة هناك العلم التقليدي الصيني الفيتنامي ومن جهة أخرى هناك العلم الغربي ، الذي استلمه بكامله الفرنسيون في بادىءالأمر ولكنه أعجب الأجيال الجديدة الفيتنامية حين بدا لها أنه السبيل الوحيد المؤدي الى الاستقلال الصحيح .

مراجع الفصل الخامس

Dương-Bá-Banh, *Introduction à l'étude de la médecine au Vietnam*, thèse de Hanoi, 1947 ; Đào-Duy-Anh, *Việt-nam văn-hóa sử-cương (Histoire sommaire de la civilisation vietnamienne)* ; M. Durand, Médecine sino-vietnamienne : bibliographie (*Bulletin de l'École française d'Extrême-Orient*, 1956) ; E. Gaspardone, Bibliographie annamite (*ibid.*, 1934) ; P. Huard, Études historiques sur l'ancienne médecine sino-vietnamienne (*Bulletin de la Société des Études indochinoises*, 1956) ; Id., La médecine sino-vietnamienne (*Concours médical*, 1957) ; P. Huard et M. Durand, Lãn-Ông et la médecine vietnamienne (*Bull. Soc. Études indoch.*, 1953) ; Id., *Connaissance du Vietnam*, Paris, 1954 ; Id., Un traité de médecine sino-vietnamienne du XVIII[e] siècle (*Rev. hist. sci.*, 1956) ; Nguyễn-Trần-Huân, *Histoire des premières relations entre la médecine chinoise et la médecine vietnamienne* (Congrès des Sinologues, Paris, 1956) ; Trần-Hàm-Tấn, *Notes bibliographiques sur la pharmacopée sino-vietnamienne* (trad. M. Durand), Dân Việt-nam, 1948 ; Trần-Ngọc-Ninh, L'éthique dans la médecine sino-vietnamienne (*Arch. int. Hist. Sci.*, 1953).

الفصل السادس

تقدم العلم الحديث في الشرق الأقصى
بخلال القرن التاسع عشر

في الصين كما في اليابان ، وحوالى منتصف القرن التاسع عشر لم يدخل العلم الحديث الا بشكل جزئي جداً وغامض جداً . فلا مجلوبات اليسوعيين إلى بلاط بكين ، ولا الاتصال بين العلماء اليابان وبين التجار الهولنديين في ديشيما (راجع المجلّد الثاني) كانت تكفي لادخال هذين البلدين ضمن المجموعة العلمية العالمية بشكل كامل . ان الوضع السابق على الرأسمالية في النشاط الإقتصادي والتوجه المحافظ في الدولة وفي الفكر الرسمي كانا قليلي المساعدة لتكامل ازدهار هذه البذور من العلم الحديث الآتية بفضل الاتصال بالغرب .

إن الأحداث السياسية : حرب الأفيون ، وعملية التحول الاقتصادي والسياسي البطيئة التي أطلقتها هذه الحروب في الصين ، والحركة الاصلاحية « الميجي » ، والتحديث السريع في اليابان ، الذي تم بفضل باعثيه، كل ذلك سوف يغير بصورة جذرية ، في هذين البلدين ظروف انتشار العلم الحديث وظروف البحث العلمي الأصيل . وربما لا يوجد مثل أكثر دلالة على الترابط الوثيق الموجود بين الوضع الاقتصادي والسياسي العام في بلد ما وبين حالة نمو العلم وتطوره .

الشروط الجديدة لانتقال العلم الى الصين . ـ ان حروب الأفيون لـ 1840-1842 و1856-1860 ، قد مكنت الدول الغربية من التدخل اقتصادياً وسياسياً في الصين . وأصبحت المرافىء الرئيسية مفتوحة أمام التجارة ، وقامت مناطق ذات وضع خاص منحت « الامتيازات » فيها للغربيين اطلاقاً ، بمعزل كامل وفعلي عن رقابة السلطات الصينية . وأصبحت جزيرة هونغ كونغ ، أمام ساحل كانتون أرضاً بريطانية خالصة .

بموجب الامتيازات أصبح الأجانب قادرين على الإقامة بحرية ، وعلى التملك وعلى تأسيس المنشآت من كل نوع . وأدى نمو التجارة باتجاه الأسواق الخارجية والداخلية الى نشوء طبقة برجوازية ، وطبقة مثقفين صينيين ناشطين جداً ، ومتطلعين الى المعارف الجديدة ، وحذرين من الفكر الصيني

التقليدي . وبعكس ما حصل في حقبة الانتقالات اليسوعية ، ان العلم الحديث لن يكتفي بالاتصال فقط برجال البلاط البطالين ، بل سيلامس مباشرة الطبقات الأكثر تقبلاً والأكثر حركة في المجتمع الصيني . والفرق بين ردات الفعل في الوسطين سوف يكون ضخماً .

إن المرافىء المفتوحة وخاصة كانتون وشنغهاي، وهما الأكثر أهمية بين المرافىء ، سوف تصبح بسرعة مراكز ناشطة جداً لنشر العلم الحديث(1) . وكذلك سوف يكون حال هونغ كونغ . ان المكاسب التي حصل عليها الغربيون بعد حروب الأفيون يدخل فيها أيضاً حرية الدعوة للانجيل في كل الصين بالنسبة الى البعثات التبشيرية الكاثوليكية والبروتستنتية . وهذه الأخيرة سوف تنجح الى حد كبير ، لا كما كان في القرن السابع عشر بإجبار الامبراطور على الموافقة ، وكذلك البلاط ، عن طريق إظهار علمهم العالي ، بل باكتساب الجماهير في هذه المرافىء المفتوحة التي تحولت اليها ركيزة الحياة الصينية وثقلها . ونشاط هذه البعثات الطبي بشكل خاص سوف يكون ضخماً .

وأخيراً لقد كرست حروب الأفيون هزيمة الصين التي وقعت بصورة تدريجية تحت تبعية الأجانب الذين كانوا يعتبرون حتى ذلك الحين برابرة ؛ وفوز هؤلاء البرابرة بدا لكل مراقب صيني عاقل كنتيجة تقنية عسكرية عليا ، هي بدورها ثمرة المعارف العلمية الأكثر تقدماً . إن التحكم بالعلم الحديث يشكل إذاً شرطاً أساسياً للنهضة الوطنية في الصين، انه شأن من شؤون الدولة من الدرجة الأولى ولم يقتصر النقاش فقط على بعض الاختصاصيين ، بل ان كل رجال السياسة ، أنصار النظام القديم أو أخصامه ، السياسي والاجتماعي ، هم الذين أخذوا يناقشون الموضوع بحماس .

النشاط العلمي الذي قامت به الإرساليات ـ في كانتون قام بيتر باركر ، أحد أعضاء جمعية بروتستنتية أميركية ، سنة 1835 بفتح أول مستشفى تبشيري في الصين . وفي سنة 1838 أسس الجمعية الطبية التبشيرية . ونشأت مراكز إشفائية تبشيرية في السنوات اللاحقة في هانيكو ، وفي ننغبو وفي سواتو وفي مدن أخرى كثيرة . في كانتون ورث هؤلاء الأطباء المبشرين الأنكلوسكسون من نشاط بذلهمنذ بداية القرن التاسع عشر أطباء « شركة الهند الشرقية » . وفي سنة 1805 قام أحدهم وهو الكسندر بيرسون بإدخال اللقاح الى مدينة ماكاو(2) . واتخذ لنفسه مساعدين صينيين كان أكثرهم نشاطاً هو يو ـ هوـ تشووان (Yeou Ho tch'ouan)، الذي نشر سنة 1818 كتاباً صينياً عن اللقاح ، ويقال أنه لقح مليون إنسان حتى وفاته سنة 1850 . وبعد تأسيس المستشفيات الإرسالية ، انتشر التلقيح بشكل واسع في المرافىء المفتوحة .

ومن أجل تأمين التدريب المهني للمساعدين الصينيين ، ترجم المبشرون الأطباء أو كتبوا بالصينية

(1) في الواقع انها عودة العلم الحديث نحو هذه المرافىء ، ذلك هو القصد . وقبل أن يختار م . ريتشي (Ricci) طريق التصرف داخل القصر الامبراطوري ، فقد بدأ عمله في نشر العلم بين الباعة والمتعلمين في منطقة كانتون ، ثم في اسفل يانغتسي (يراجع المجلد الثاني) .

(2) من المفيد التذكير أنه في الأزمنة البعيدة أيام سلالة سونغ (Song) (القرن العاشر ـ الثاني عشر) عُرفَ في الصين التجدير ، وهو أصل التلقيح . هذه التقنية نقلت الى أوروبا عن طريق الاتراك ، وقد سهلت أمام إدوار جينر (Edouard Jenner) اكتشافه للقاح ، في حين كان التجدير قد ذهب مع النسيان .

كتباً مختصرة عن الطب العملي ، ومنها كتب في التشريح (1850) والجراحة (1857) والصيدلة (1858) وضعها بنجامين هوبسون (Benjamin Hobson) ؛ وأمثال كتب جون كير ، الذي خلف باركر في كانتون ، حول أمراض الجلد (1874)، والسفلس (1875) ؛ وأيضاً مثل كتاب المفردات الطبية الصينية في ستّة مجلّدات من وضع جون دودوجون (John Dudgeon) . وتكشف بعض هؤلاء الطلاب الصينيين المدربين على يد المبشرين موهوبين بشكل رائع ؛ ومنهم : كوان آ ـ تو ، تلميذ باركر Parker وكان أول طبيب يمارس الجراحة الحديثة ، أو هوانغ كوان (ونغ فون) ، أرسل كطالب إلى الولايات المتحدة سنة 1854، مجاز من يال Yale ومن أدنبره (Edimbourg) ، وبعد عودته عمل في المستشفى التبشيري في كانتون . وإذا كان تلميذ آخر من هؤلاء التلاميذ قد أصبح رجل دولة كبير ، فإن الشهادات قد أجمعت على مدح مهارته كجراح ، إذ في كانتون ، إلى جانب الدكتورين كير Kerr وكانتلي Cantlie ، تدرب سون يات سن ، على الطب الحديث ؛ وقبل أن يتخلى عنه نهائياً ليمارس النشاط السياسي ، فقد مارس بعض الوقت الطب في ماكاو وهونغ كونغ ، ويذكر معلمه كانتلي Cant-lie انه كان يأنس في رؤية تلميذه وهو يجري العمليات .

وساهم المبشرون أيضاً في التجهيز العلمي ، في المرافىء المفتوحة وخاصة في شنغهاي، التي أصبحت منذ السنوات 1860 أحد أكبر المرافىء على الباسفيك ، والمركز الرئيسي للنشاطات المالية والتجارية الغربية في الصين . وعندما أراد الانكليزي روبرت هارت R. Hart ، الذي أسندت اليه حكومة مانشو في بكين مهمة المفتش العام للجمارك في الصين، ان يقيم رقابة صحية على المراكب ، بغية المحافظة على « الأراضي الامتيازية » من الأوبئة الآتية من الخارج ، فإنه كلف لهذه الغاية الأطباء المبشرين الأنغلوسكسون ، الذين كانوا يمارسون عملهم في المرافىء الرئيسية بمهمات المفتش الطبي للجمارك . وكانت المؤسسة التي أقامها سنة 1873 الآباء اليسوعيون الفرنسيون من أجل مرصد زيكاوي Zikawei ، في ضاحية شانغهاي، والذي تخصص بالأرصاد الجوية ، وخاصة بالتنبؤ بالأعاصير (تيفون) قد قامت لنفس الغرض ؛ فلم تعد غاية هؤلاء الفلكيين اليسوعيين الاقامة في بلاط بكين ، كما كان فعل في القرن السابع عشر سابقوهم الشهيرون ريتشي Ricci ، وشال Schall وفربيست Verbiest ، بل الاقامة في مركز التجارة الأجنبي في الصين للمساهمة في نموها . هذا المثل يوضح جيداً المسالك الجديدة جداً التي سلكتها ، في هذه المرحلة الأخيرة ، الانتقالات العلمية التبشيرية في الصين

وانه لذو دلالة ان يقوم الكسندر وايلي (Alexander Wylie) ، مبشر من (جمعية لندن التبشيرية) بنقل كتاب اقليدس « الجيومتريا » الى الصينية ، ابتداء من النقطة التي انتهى اليها ريتشي Ricci ، أي في الكتاب السادس ، ونشر في شنغهاي، حوالى سنة 1860ترجمة للكتب الأخيرة ، وكذلك كتاب الجيومتريا التحليلية ، وكتاب الحساب التفاضلي وحساب التكامل الذي وضعه لوميس Loomis ، وكتاب علم الفلك الذي وضعه ج. هرشل (J. Herschel) .

الجهود المبذولة لنشر العلم الحديث من قبل السلطات الصينية في أواخر عهد الامبراطورية - من جهة كان رجال الدولة الصينيين أقل لا مبالاةٍ من مابقيهم في القرن السابع عشر ، تجاه نشر العلم الحديث في بلدهم . لقد أصيبوا بالهزائم العسكرية الخطيرة الأمر الذي حملهم على الإهتمام بتلافي التأخير العلمي الصيني الذي كانوا على وعي تام به . وكانت كلمة السر هي « تقوية الصين لذاتها

بذاتها » (تـي ـ كيانغ) ، وبدا التقدم العلمي في نـظر أهل الـرؤيا الـواضحة من الحكـام الكبار ، كعنصر مهم في هذه التقوية . وقد حفز هذا الهم في الـسابق « لين تـي سيـو » (Lin Tse siu) ، نائب الملك المرسل الى كانتون سنة 1839 من أجل طرد تجار الأفيون ، وقد تسببت شدته بالحملة الإنكليزية سـنة 1840 ، وهذا الاهتمام بالذات كان أيضاً عند تسنغ كوو ـ فان (Tseng - Kouo-fan)، الذي كان يوجه القمع بواسطة الجيوش الامبراطورية ضد العصيان الكبير الذي حصل في « تايبنغ » (Taiping) (1851-1864) ، بمساعدة جنود فرنسيين وانكليز . فقد بدا له أنه لا يكفي أبداً شراء المعدات الحربية الأحدث من الغرب ، بل وحتى القيام بصنعها في الصين . فقد صرح بهذا الشأن سنة 1868 في مذكرة أرسلهـا الى الامبراطـور يقول : « الآن ، أصبحت التـرجمات هي أسـاس التصنيفات الحـديثة . ان الرياضيات تستعمل عند الأجانب كأم للعلوم الصناعية . . . ورغم أننا نعرف صنع الأشياء ، إلا أننا عاجزون عن فهم مبادىء صناعتها ، بسبب صعوبات اللغة » (نص ذكره ج.شن G. Chen ، «تسنغ كيو ـ فان» ، ص 63)

هذا الاهتمام بالعلم حرك أيضاً نائب الملك تشانغ تشي تونغ (Tchang-Tche-tong) الذي نشر سـنة 1898 كتابه الشهير « كيون هيوبيان » (« الحض على الدراسة ») ، وكان برنامجه يفسح مجالاً واسعاً أمام المعارف الحديثة .

وتلاقت الاهتمامات السياسية لدى هؤلاء الرجال الرسميين مع الاهتمامات العلمية الخالصة ، لدى عدد من المتعلمين المولودين بشكل خاص في مناطق يانغستي الأسفل، الذين كانوا شهوداً عـلى التحولات الاقتصادية في هذه المنطقة ، والـذين أخذوا يعـون بصورة أكبـر الجمود الـذي تتّسم به الدراسات الكونفوشية للصين. في ووسي Wousi ، مثلاً ، وهي مركز صناعي وتجاري ناشط ، قامت مجموعة من المثقفين المتطورين ، سنة 1850 تقريباً ، بدراسة الفيزياء الحديثة ، مستعينة بكتب نشرها في شنغهاي ، بالصينية، المبشرون الانغلوسكسون . فاستوردوا لحسابهم أجهزة ضرورية للتجارب المدونة في هذه الكتب . وقام المهندس تسي كوو هيانغ ، سنة 1863 ، فبنى في آنكين بوسائله الخاصة ، ودون أن يستعين بالاخصائيين الغربيين ، أول سفينة على البخار صينية ، سعتها 25 طناً ، وكان من بين أفراد هذه المجموعة . وكذلك كان حال العالمين الرياضيين هوا هونغ فانغ ولي شان لان ؛ وقد اتصل الأخير بالرياضي التبشيري الكسـاندروايلي، ومن تعاونهما خرجت ترجمة الكتب الأخيرة من « جيومتريا » اقليدس ، تماماً كما كانت ترجمة الكتب من 1 إلى 6 ، قبل ذلك بقرنين من الزمن ، عملاً مشتركاً قام به ماتيو ريتشي وبول سيو كوانغ ـ كي . وكان لي شان ـ لان هذا ، بذات الوقت ، مؤلف كتب مهمة شخصية حول الدالات (FONCTIONS) التريغونومترية (علم المثلثات) واللوغاريتمات والقطع الأهليلجي ومجاميع سلاسل المثقلات وكان وايلي Wylie يرى أن كتابه حول اللوغاريتمات ، الذي ظهر سنة 1846 ، كان يكفي ليزمن لمؤلفه الشهرة في زمن نابيه (Napier) في أوروبا . وكان المهندس تنغ كونغ تشن وجهاً آخر من المثقفين المنجذبين نحو العلم الحديث . وقد زار سنغافورة ، واتجه نحو الرياضيات والهندسة المدنية . ونشر سنة 1850 تقريباً « رسوماً حول المدفعية » (ين ـ باو تو شوو) وهو صاحب مشروع أصيل لقاطرة بخارية .

إن انتشار العلم الحديث في الصين انطلاقاً من حروب الأفيون يعود الفضل فيه الى تعاون هاتين المجموعتين : رجال الدولة الحريصون على تقوية الامبراطورية ، ثم المثقفون المتطلعون الى العلوم . ومن جهتهم قام المبشرون ، خاصة بعد 1860-1870 ، يتعاونون مع المجموعتين تعاوناً وثيقاً . وكذلك كان الطلاب الصينيون العائدون من الخارج ، والذين كانوا يومئذٍ غير كثيري العدد ، مشاركين في هذا الانتشار(إن أول بعثة من الطلاب أرسلت الى الولايات المتحدة تعود في تاريخها الى سنة 1854) ؛ وفي آخر القرن أصبح عدد هؤلاء الطلاب عدة مئات من الرجال .

في سنة 1865 أسس تسنغ كوو فان ، قرب شنغهاي ترسانة كيانغنان . والحق بها سنة 1867 مكتب دراسات علمية وترجمات ، وكان يشجعه في ذلك مثقفو المنطقة أمثال لي شان ـ لان وممثلون آخرون من مجموعة ووسي (Wousi) ، وبعض الأنغلوسكسون أمثال آ. وايلي ، ود. ج. ماكغوان (D.J. Macgowan) وج. فراير (J. Fryer) . وشرعوا يضعون ، باللغة الصينية ، مجموعة اصطلاحات « مدونة » علمية حديثة (لأن المدونة التي وضعها اليسوعيون في القرن الثامن عشر لم تعد تتلاءم مع التطور الحاضر في العلم الغربي) . وظهرت الكتب الأولى سنة 1873 ، وتُرْجِمَ ثمانية وتسعون كتاباً علمياً غربياً ، تشكل 235 مجلداً ، ونشرت بخلال ست سنوات ؛ وبيع منها 83454 نسخة يضاف اليها 4774 نسخة عن 27 خارطة جغرافية حديثة نشرها المكتب . انها نتيجة ملحوظة ، خاصة بغياب أية شبكة منظمة للدعاية وللتوزيع . في هذه المجلدات (235) المنشورة ، جاءت الرياضيات في الطليعة باثني وخمسين مجلداً ، ثم جاء علم الفلك (27 مجلداً) ، والجيولوجيا (20 مجلداً) والكيمياء ؛ (19 مجلداً) .

وقام مركز ثانٍ مهم للترجمة ، بذات الوقت ، في بكين؛ انه موقع قد يثير العجب ظاهراً ، بعيداً عن نشاطات المرافىء ، إلا أنه يجد تفسيره في رغبة وزارة الخارجية ، تدريب مترجمين مؤهلين للغات الأجنبية . وقامت كلية « تونغ وين كوان » (« مكتب العلاقات الثقافية ») ، لهذه الغاية سنة 1862 ، وفيها لا تدرس بصورة أساسية إلا اللغات الغربية ؛ ولكن في سنة 1867 كان تأثير دعاة الاصلاح قوياً ، لدرجة أنه ـ رغم قرب البلاط حيث تسيطر العناصر الأكثر تشبثاً بالمحافظة ـ كانت دراسة العلوم الأوروبية قد دخلت اليه في سنة 1867 . وأقيمت في هذه الكلية مختبرات للكيمياء (1876) ومرصد (1888) : والحقت بها مطبعة سنة 1873 من أجل نشر الكتب الصينية المحررة بمساعدة أساتذة غربيين تختارهم الكلية : الفرنسي بيلاكوين (Billequin) للكيمياء ، والأميركي و. آ. ب. مارتن Martin للفيزياء ، والانكليزي جون دودجون للطب. وعلم في الكلية أيضاً علماء صينيون ، ضليعون بالعلوم الحديثة ، مثل العالم الرياضي الكبير لي شان ـ لان . وتضمن البرنامج الكامل للدراسة علم الفلك ، والرياضيات،والكيمياء ، والتشريح ، والفيزيولوجيا ، والفيزياء والجغرافيا ، والجيولوجيا ، وعلم التعدين ، والهندسة المدنية ، الخ .

ولكن النص الصيني لهذا البرنامج لم يتضمن إلا البندين « علم الفلك » و« الرياضيات » ؛ وأغلب الظن أن القائمين بالمشروع حاولوا أن يخفوا ضخامته ، خيفة أن يستثيروا عداء الفريق المحافظ في البلاط .

والدليل على ذلك أنه في سنة 1867 ، سنة ادخال العلوم في برنامج الكلية ، قام وو ـ جين ، كبير الأمناء ورئيس أكاديمية هان لين ، وإذا فهو بهذا المنصب المزدوج إحدى الشخصيات الأولى في الامبراطورية ، يعلن معارضته الشديدة لتطوير العلم الحديث :

« من وجهة نظر خادمك ، ان علم الفلك والرياضيات لها فائدة محدودة جداً . وإذا كانت هذه المواضيع تعلم بانتظام من قبل الغربيين ، فإن الضرر سوف يكون عظيماً . . . . لقد عرف خادمك بأن الأسس المتينة لأمّة من الأمم ترتكز على الملكية وعلى الاستقامة، لا على القوة ولا على المؤامرات . إن الجهد الأساسي يتعلق بروح الشعب ، لا بالتقنيات . فمنذ العصور القديمة وحتى العصور الحديثة ، لم يسمع خادمك عن أحد استخدم الرياضيات لإنهاض الأمة المتأخرة أو لتقويتها في حقبة ضعف . . . » (ذكره ج . ك . فيربانك ، تجاوب الصين مع الغرب ، ص 76) .

الواقع أن الغالبية العظمى من قادة الامبراطورية ظلوا متعلقين بقوة بالكونفوشية ، التي لا تنفصل في أذهانهم عن كل « النظام القديم » السياسي والإجتماعي . وحتى عندما لا يذهبون الى حد الرفض الكامل مثل «وو ـ جن»، وحتى لو كانوا مثل نواب الملك «تسنغ كوو ـ فان» و «تشانغ تشي تونغ » يشجعون الى درجة معينة الدراسات العلمية الحديثة ، فالأمر بالنسبة اليهم لا يعدو أن يكون معالجة تلطيفية مفيدة للامبراطورية ، وليس اعادة توجيه عامة للحياة الفكرية الصينية ؛ ولم يفكروا بتوسيع هذه الدراسات العلمية الحديثة لتتجاوز حلقة ضيقة من الاختصاصيين والتقنيين تحتاجهمُ الدولة بصورة مباشرة . هذا الموقف المتناقض ، ملخص تماماً في عبارة « تشانغ تشي ـ تونغ » الشهيرة : « ان العلم الغربي قد تكون له فائدة عملية ، ولكن المعرفة الصينية التقليدية تظل تشكل ركيزة المجتمع » (سي ـ هيو وي يونغ ، تشونغ ـ هيو وي بن) .

ولكن هذا « النظام القديم » كان له خصوم ذوو عزيمة ، هم ، بالعكس ، من أنصار انتشار بدون حدود للعلم الحديث . وهذه النقطة من برنامجهم تسير جنباً الى جنب ، في نظرهم مع نهاية الملكية المطلقة ، ومع ذهاب سلالة المانشو ، ومع التحديث في الاقتصاد الصيني ، ونهاية نظام الامتحانات القديمة المرتكزة على المعرفة المحصورة بالمعارف الكونفوشية الكلاسيكية .

ومنذ منتصف القرن ، كانت هذه الأفكار التحديثية منتشرة في دولة التايبنغ (Taiping) المنشقة التي ظلت لمدة تقارب الخمسة عشر عاماً ، تتحدى المانشو في وادي يانغتسي . واقترح رئيس وزراء تايبنغ ، « هونغ جن كان » ـ الذي كان معلم دين بروتستنتي قديم في كانتون وفي هونغ كونغ ـ سنة 1859 ، على قريبه « هونغ سيو تسيوان » ، «الامبراطور السماوي»، خطة تجديد للصين . وفيها اقترح أن فن الخط ، والأظافر الطويلة ، والحلي هي أقل فائدة من القطارات ، ومن موازين الحرارة والطقس ؛ وفيها اقترح تغطية الصين بالسكك الحديدية ، وبشبكة من المستشفيات ، والمصارف والمصانع المزودة بالآلات الحديثة .

وفي آخر القرن ، استمر التحديث العلمي يشكل عنصراً أساسياً في الراديكالية السياسية . ونادى الفيلسوف الشاب تان سو ـ تونغ ، مرافق المصلح «كانغ يو ـ وي»، «بالغربية الكاملة» في الصين . وبخلال « المئة يوم » التي بقي فيها « كانغ يو ـ وي » وأصدقاؤه في الحكم ، بخلال صيف 1898 ، كان

أحد أشهر المراسيم الاصلاحية التي قدموها للامبراطور يتعلق بتعميم التعليم العلمي الحديث . ولكن الأحزاب المحافظة سرعان ما أجبرت المصلحين على الهرب الى اليابان . وألقي القبض على تان سو- تونغ وقطعت رأسه بأمر من البلاط .

وكذلك كان موضوع التقدم العلمي يحتل مكانة كبيرة في أفكار « سن يات سن » ، والحلقات الأولى من المثقفين الجمهوريين الذين ظهروا في مطلع القرن العشرين . وكون سن يات سن قد اهتم في بادىء الأمر بالطب الحديث ، قد ساهم حتماً في عدائه الكامل « للنظام القديم » ؛ واحترامه للعلم الحديث انعكس باستمرار في كتاباته السياسية .

النهضة العلمية في اليابان منذ عهد الميجي . ـ في 8 تموز 1853 ، ألقت العمارة البحرية الاميركية بقيادة بيري Perry مراسيها تجاه يدو (Yedo) : وهكذا بدأت سلسلة من الضغوطات العسكرية والدبلوماسية أجبرت اليابان على « الانفتاح » بدورها أمام الغربيين . ولكن هذه الهزيمة ، بخلاف الهزيمة التي حلت بذات الوقت ، بالصين ، أحدثت في اليابان يقظة لدى العناصر القيادية ؛ وقرروا أن يحدِّثوا البلد بصورة جذرية ، وأن يقضوا على « النظام القديم » الاقطاعي ، وأن يبعثوا ـ كرمز لليابان الجديدة ـ سلطة الميكادو ؛ وحملت « ثورة 1868 » الى العرش الامبراطور الشاب موتسوهيتو Mutsuhito ، الذي أطلق على حقبة حكمه الاسم المعبر « ميجي » Meiji أي «السياسة المستنيرة» .

وسوف يحل المصلحون من منشأ أرستقراطي « ساموراي » أو تجاري ـ وهم باعثو اليابان الجديدة- وبسرعة محل التنظيم السياسي والاقتصادي الاقطاعي في البلد ، عن طريق دولة تسلطية من النمط الحديث : فسوقوا انتاج الأرزّ ، وطوروا الحركة الآلية الصناعية ، ووحدوا العملة والأوزان والمكاييل ، واستبدلوا الضريبة العينية بضريبة نقدية ، وقووا المركزية ، وحدثوا الادارة والجيش والبحرية . ولكن من أجل تنفيذ هذه التحولات العميقة ، لم يكن بالإمكان الاكتفاء ببعض المهندسين والتقنيين والمستشارين الأجانب المستجلبين من الغرب : كان لا بد من تدريب اليابانيين أنفسهم لاستخلاص عدد كبير من الكادرات القادرة . ووجدت حكومة الميجي نفسها أمام ضرورة إعطاء دفعة قوية للتعليم العلمي الحديث وللبحث العلمي .

وأصبحت دراسة العلوم إجبارية في التعليم الثانوي والعالي . ومنذ 1868 ، أقيمت في طوكيو مدرسة الطب (ايغاكوشو) ومدرسة المعرفة الأجنبية (كيسيهو) ، اللتين اندمجتا سنة 1877 في جامعة طوكيو . وأنشئت جامعات حديثة أخرى سنة 1899 في كيوتو ، وسنة 1903 في فوكوكا ، وفيما بعد ، في مدن أخرى . وكان التعليم يتأمن فيها في البداية بواسطة أساتذة أجانب ، ومن قبل تلامذة رانغاكوشا (Rangakusha) الحقبة السابقة (« متخصصون بالعلم الهولندي ») ، سرعان ما استبدلوا بعلماء يابانيين درسوا في الخارج وفي هذه الجامعات بالذات .

في الطب مثلاً جاء أطباء إنكليز وأميركيون وألمان بصورة خاصة (عندما اكتشف اليابانيون أن غالبية الكتب الطبية الهولندية التي كانت معروفة عندهم حتى ذلك الحين ، كانت مترجمة عن الألمانية) ، وذلك بين 1870 و1880 ، الى اليابان وأخذوا يدربون أطباء يابانيين . وتأسست أول مجلة دورية حديثة طبية سنة 1873 ، كما قام معهد لاعداد المصل ضد الجدري سنة 1874 وفي سنة 1890 أقيم

أول مؤتمر ياباني للطب الحديث . وساهمت التدابير التشريعية في مسار هذه الانجازات التقدمية : قانون حول ممارسة مهنة الطب (1875) ، قانون حول بيع الأدوية (1877) ، قانون لمكافحة الأوبئة (1880) .

ونمت فروع أخرى من العلم الحديث ـ كانت تعتبر قبل « الميجي » مشبوهة ، أو تستحق العداء ، من قبل قادة اليابان القديمة ـ بدون عقبات . من ذلك الرياضيات التي دفعتها الى الشهرة مثلاً أعمال د. كيكوشي ، تلميذ قديم في جامعة كمبريدج ، والذي كان أول من شغل كرسي الرياضيات الحديثة في جامعة طوكيو ؛ ويمكن أن نرى في الأمر استمرار تراث قديم ، لأن الرياضيات « تانزان » كانت مزدهرة في أيام الـ طوكوغاوا ؛ ويمكن أن نرى فيه أيضاً التعبير عن الواقع الاقتصادي ، بمقدار ما كانت نهضة العلوم الرياضية غير مرهونة بتجهيزات حديثة كانت ما تزال حتى ذلك الحين نادرة ومكلفة .

وكان علم الجيولوجيا وعلم الزلازل موضوع عناية خاصة ، الأول بسبب احتياجات الصناعة الحديثة ، والآخر لاسباب تتعلق بالسلامة العامة . وتولى الألماني أ نومان (E. Naumann) إدارة مكتب استقصاء منجمي ، أنشأته الدولة سنة 1878 ؛ وقام العالمان بالزلازل الانغلو سكسونيان جون ميلن John Milne وج آ. ايونغ (J.A. Ewing) بتدريب تلامذة يابانيين كان أبرزهم خليفتهما ف. أوموري F.Omori الذي درس سنة 1892 الزلازل الأرضية في مقاطعتي مينو (Mino) واواري (Owari) . وشكل « الديت » الامبراطوري بهذه المناسبة لجنة علمية للاستقصاء ، أعطت لعلم الزلازل الحديث التكريس الرسمي الكامل .

وفي مجال علم الاناسة ، على سبيل المثال ، لعب ا. س مورس (E.S. Morse) الدور الأساسي فنشر لأول مرة في اليابان نظرية التطور ، كما درس مع تلميذيه س تسوبوا (S. Tsuboi) وهـ. كاتو (H. Kato) أهل البلد الأصليين (الأينوس) في شمالي اليابان .

وبأشكال عدة ، تسرب العلم الحديث ، منذ أواخر القرن التاسع عشر ، الى الحياة العامة اليابانية . وبدأ وضع الخرائط العامة للبلد بشكل ورشة ، خاصةً خارطة استكشافية من مقياس واحد على أربعمائة ألف ، وخارطة مفصلة من مقياس واحد على مائتي ألف.واعتمدت الروزنامة الشمسية الغريغورية بصورة رسمية منذ 1872 وبخلال نفس الحقبة تقريباً اعتمد النظام المتري الدولي . وأنشئت شبكة من محطات الرصد للأجواء في كل أطراف البلد .

* * *

وفي أواخر القرن التاسع عشر ، أصبحت عملية دمج بلدان الشرق الأقصى في حقل نشاط العلم الحديث متقدمة للغاية . وإذا كان تقدم هذا العلم الحديث سريعاً جداً في اليابان ، في حين أنه في الصين أثار جغرافياً واجتماعياً اهتمام جزء صغير من البلد ، فذاك لأن تراجع النظام القديم التقليدي قد تأمن في اليابان ، ولكنه بالعكس بالكاد بدأ في الصين .

مراجع الفصل السادس

K. BIGGERSTAFF, The T'ung Wen Kuan (*Chinese social and political science Review*, oct. 1934); G. CHEN, *Lin Tse-hsu*, Pékin, 1934 ; ID., *Tseng Kuo-fan*, Pékin, 1935 ; J. FRYER, An account of the department of translation of foreign books at the Kiangnan arsenal (*North China Herald*, 24 janv. 1880) ; W. LOCKHARDT, *The medical missionary in China*, Londres, 1861 ; E. R. HUGHES, *The invasion of China by the Western World*, Londres, 1937 ; C. OKUMA, *Fifty years of modern Japan*, Londres, 1910 ; TENG SSU-YU et J. K. FAIRBANK, *China's response to the West, a documentary survey, 1839-1923*, Harvard University Press 1954 ; K. C. WONG et T. L. WU, *History of the Chinese Medicine*, Tientsin, 1932 ; INAZO NITOBE, *Western influences in Modern Japan*, Chicago, 1931 (voir dans ce volume l'article de A. KUWAKI, Development of the study of science in Japan) ; Third Pan-pacific science Congress (Tokyo, 1926), *Scientific Japan, Past and Present*; E. YAGI, How Japan introduced Western Physics in the early Years of the Meiji (1868-1888) (*Scient. Papers of the Col. of gen. Educ., Univ. of Tokyo, 9*, 1, 1959) ; S. YAJIMA, Les sciences physiques au Japon durant l'ère de Meiji (1868-1912) (*Arch. int. Hist. Sci.*, 9, 1956) ; Chitoshi YANAGA, *Japan since Perry*, New York, 1949.

الفهرس

ـ أ ـ

- ت -

- ث -

- ج -

- ز -

- ش -

- ف -

- ل -

- هـ -

- ي -

فهرست الرسوم

فهرس المحتويات

الموضوع الصفحة

الموضوع	الصفحة

القسم الثالث : العلوم الفيزيائية

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع | الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

القسم الخامس : علوم الحياة

الكتاب الأول : البنيات والوظائف

الموضوع	الصفحة

الكتاب الثاني : تكون الأشكال

الموضوع | الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع | الصفحة

القسم السادس : الحياة العلمية

الموضوع	الصفحة

1990/7/350

هذه الموسوعة

ساهم في تأليف هذه الموسوعة أكثر من مئة عالم وباحث بإشراف البروفسور الكبير رينيه تاتون، المدير العلمي للمركز الوطني للبحث العلمي في فرنسا.

وهي من أربعة مجلدات :

المجلد الأول :

العلم القديم والوسيط

من البدايات حتى سنة 1450 م .

المجلد الثاني :

العلم الحديث

من سنة 1450 إلى 1800 .

المجلد الثالث :

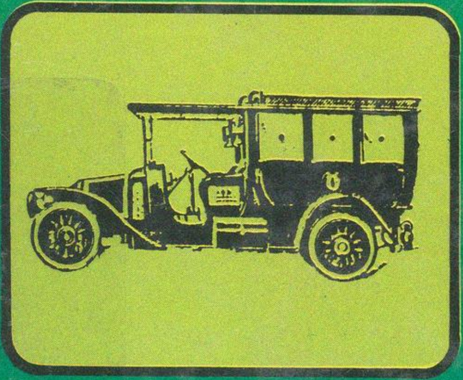
العلم المعاصر

القرن التاسع عشر .

المجلد الرابع :

العلم المعاصر

القرن العشرون .





المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع